Thème 2: Surveillance, usage et mise en valeur des zones côtières
Thème 4: Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation

Ivan SCHLAICH
Elvire ANTAJAN
Sylvaine FRANCOISE
Laure LAMORT
Christophe LOOTS
Frank MAHEUX
Emilie RABILLER
Michel ROPERT
Benjamin SIMON

Mars 2018 – IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 18-001

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly

Année 2017
Rapport scientifique annuel

Numéro d'identification du rapport : IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB 18-001	**Date de publication** : mars 2018
Diffusion : libre Validé par **: Comité de lecture** **Version du document** : définitive	**Nombre de pages** : 177 **Bibliographie** (Oui / ~~Non~~) **Illustration**(s) (Oui / ~~Non~~) **Langue du rapport** : français

Titre et sous-titre du rapport :

Surveillance écologique et halieutique du site électronucléaire de Penly
Année 2017 - Rapport scientifique annuel
Ecological and fisheries monitoring of the Penly nuclear power plant
Year 2017- Annual scientifical report

Auteurs principaux :	**Organisme - Direction - Service - laboratoire**
Ivan SCHLAICH	IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB
Elvire ANTAJAN	IFREMER-ODE-LER-LERB
Sylvaine FRANCOISE	IFREMER-ODE-LER-LERN
Christophe LOOTS	IFREMER-RBE-HMMN-RHB
Laure LAMORT	IFREMER-ODE-LER-LERN
Frank MAHEUX	IFREMER-ODE-LER-LERN
Emilie RABILLER	IFREMER-ODE-LER-LERN
Michel ROPERT	IFREMER-ODE-LER-LERN
Benjamin SIMON	IFREMER-ODE-LER-LERN

Collaborateur(s) : nom, prénom	**Organisme - Direction - Service - laboratoire**
Coline Lazard	IFREMER-RBE-HMMN-RHB
Dominique Hervio Heath	IFREMER-RBE-SG2M-LSEM
Emilie Rabiller	IFREMER-ODE-LER-LERN
Tania Hernandez-Farinas	IFREMER-ODE-LER-LERN
Florian Caradec	IFREMER-ODE-DYNECO-PELAGOS
Francis Gohin	IFREMER-ODE-DYNECO-PELAGOS
Gaëlle Courtay	IFREMER-ODE-LER-LERN
Josselin Caboche	IFREMER-RBE-HMMN-RHB
Laure Lamort	IFREMER-ODE-LER-LERN
Laurent Dubroca	IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB
Louis Wilfried	IFREMER-RBE-HMMN-LERN
Nicolas Goascoz	IFREMER-RBE-HMMN-RHPEB
Olivier Pierre-Duplessix	IFREMER-ODE-LER-LERMPL
Remy Cordier	IFREMER-ODE-LER-LERB
Sophie Schmitt	IFREMER-ODE-DYNECO-PELAGOS
Valérie Lefebvre	IFREMER-RBE-HMMN-RHB

Titre du contrat de recherche : **Marché n° C4493C0850**

Organisme commanditaire :
Electricité de France (EDF) – Production Transport – C. N. P. E. de Penly
BP 854 - 76370 NEUVILLE LES DIEPPE

Organisme réalisateur :
Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, IFREMER
150 quai Gambetta - BP 699 - 62321 Boulogne sur Mer Cedex 03

Cadre de la recherche :
Programme : Surveillance et évaluation de la qualité du milieu marin
Projet : Impact des Grands Aménagements (I.G.A)

Campagne océanographique : *IGA 1-2-3, 2017, NO DELPHY*

Résumé :

La surveillance n° 30 sur le site de PENLY couvre la période de mars à septembre 2017.

Les domaines étudiés sont l'hydrologie, la microbiologie, le plancton végétal et animal et le domaine halieutique.

L'année 2017 est la vingt huitième année de fonctionnement de la centrale.

Abstract :

Monitoring n° 30 of PENLY nuclear power - plant takes into account studies between March and September 2017.

Hydrology, microbiology, phytoplankton, zooplankton and fishing are studied.

This power-plant has been in operation for twenty-eight years.

Mots-clés :

Pélagos - Halieutique - Centrale nucléaire – Surveillance

Keywords :

Pelagos - fishing - Nuclear power plant – Monitoring

Commentaire :

Schlaich I., Antajan E., Françoise S., Lamort L., Loots C., Maheux F., Rabiller E., Ropert M., Simon B., 2018.-Surveillance écologique et halieutique de site électronucléaire de Penly, année 2017 – Rapport scientifique annuel. Rapp. IFREMER/RBE/HMMN/RHPEB, mars 2018, 177 p.

Surveillance écologique et halieutique

Site de Penly
mars 2017 - septembre 2017

IFREMER

Station de Port en Bessin Avenue du Général de Gaulle 14520 Port en Bessin Tél. : 02 31 51 16 00	Centre de Manche Mer du Nord 150 quai Gambetta - BP 699 62321 Boulogne-sur-Mer Tél. : 03 21 99 56 00
Centre de Brest B.P. 70 29280 Plouzané Tél. : 02 98 22 40 40	

AUTRES ORGANISMES

Labéo Frank Duncombe 1 route Rosel Saint Contest 14053 Caen Tél. : 02 31 47 19 19	SGS Multilab 65, rue Ettore Bugatti BP 90014 76801 Saint Etienne du Rouvray Cedex Tél. : 02 35 07 91 91

Sommaire

Préambule 9

Synthèse 11

1. Généralités 17
1.1. Introduction 19
1.2. Géographie 19
1.3. Géologie 20
1.4. Hydrographie continentale 21
1.5. Hydrographie marine 22
1.5.1 Marées 22
1.5.2 Courants 23
1.5.3 Apports telluriques 23
1.6. Climatologie 24
1.6.1 Le climat en Haute-Normandie 24
1.6.2 Pluviométrie 25
1.6.3 Température de l'air 27
1.6.4 Débit de la Seine et la Bethune 29
1.7. Température de l'eau de mer 30
1.8. Electrochloration 33
1.9. Travaux réalisés par l'IFREMER 34

LE DOMAINE PELAGIQUE 35
2 Hydrologie, Physico Chimie, Chimie 39
2.1 Stratégie de surveillance 39
2.2 Matériels et méthodes 39
2.2.1 Mesures in situ et prélèvements 40
2.2.2 Méthode et précisions 40
2.2.3 Traitement et exploitation des données 41
2.3 Résultats 43
2.3.1 Température de l'eau de mer 43
2.3.2 Salinité 47
2.3.3 Oxygène 49
2.3.4 Ammonium 51
2.3.5 Nitrate et Nitrite 52
2.3.6 Phosphate et Silicate 55
2.3.7 Matière en suspension 59
2.3.8 Trihalométhanes 61
2.3.9 Hydrazine et ethanolamine 63
2.4 Mise en perspective des résultats IGA avec la DCE 64
2.5 Conclusions 66

2.6 Annexe 67

3 Phytoplancton 71
3.1 Stratégie de surveillance 71
3.2 Matériels et méthodes 72
3.2.1. Chlorophylle a 72
3.2.2. Production primaire 73
3.2.3. Dénombrement du phytoplancton 74
3.2.4. Télédétection satellitaire 75
3.2.5. Traitement et exploitation de données 75
3.3. Résultats 77
3.3.1. Biomasse chlorophyllienne 77
3.3.2. Production primaire 81
3.3.3. Productions phytoplanctoniques 85
3.3.4. Bilan des résultats obtenus aux points *Canal* et *Rejets* 91
3.4. Conclusions 91
3.5. Annexe 93

4. Microbiologie 97
4.1. Matériels et méthodes 98
4.1.1. Prélèvements 98
4.1.2. Analyses microbiologiques 98
4.1.3. Analyses statistiques 100
4.2. Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2017 101
4.3. Résultats du dénombrement des germes totaux 102
4.3.1. Variations spatiales et saisonnières des germes totaux 102
4.3.2. Variations interannuelles des germes totaux 102
4.3.3. Approche statistique 104
4.4. Germes revivifiables sur milieu de Zobell 104
4.4.1. Variations spatiales et saisonnières des germes revivifiables 104
4.4.2. Variations inter-annuelles des germes revivifiables 105
4.4.3. Approche statistique 106
4.5. Résultat sur le dénombrement et l'identification des vibrions halophiles 106
4.5.1. Dénombrement des vibrions halophiles 106
4.5.2. Approches statistique 107
4.5.3. Identification des vibrions halophiles 107
4.6. Conclusions 109
5. Zooplancton 111
5.1. Introduction 113
5.2. Matériels et méthodes 113
5.2.1. Mesure de la biomasse sestonique 113
5.2.2. Analyse taxinomique du zooplancton 114
5.2.3 Disponibilité des données depuis le début de la série 114
5.3. Résultats 115
5.3.1. Biomasse sestonique 116
5.3.2. Abondances zooplanctoniques globales 119

5.3.3. Etude faunistique 122
5.3.4. Variations spatio-temporelles des principaux taxons 123
5.4. Conclusions 128

LE DOMAINE HALIEUTIQUE 131
6. Halieutique 131
6.1. Ichtyoplancton 133
6.1.1. Historique du suivi 133
6.1.2. Expression des résultats 135
6.2. Macrofaune halieutique 145
6.2.1. Chronologie des prélèvements 145
6.2.2. Expression des résultats 145
6.2.3. Résultats 148
6.3. Conclusions 153

7. Conclusions 153

Annexes 159

Bibliographie 171

Préambule

L'étude écologique et halieutique du site de PENLY a été confiée à deux organismes par Electricité de France: le CNEXO pour la partie écologique entreprise en 1978 et l'ISTPM pour la partie halieutique entreprise en 1977 (*).

L'étude de Projet menée par ces deux organismes de février 1978 à janvier 1980 (étude écologique) ou de février 1978 à décembre 1979 (étude halieutique) avait pour but d'établir un état de référence avant l'implantation de la centrale nucléaire. Par la suite, Electricité de France a financé, au-delà de l'étude de projet de 1980 à 1983, la poursuite de l'étude de la nourricerie de poissons plats lors d'une phase d'études complémentaires.

A la demande d'Electricité de France, l'étude de Surveillance a commencé en 1987, soit trois ans avant la date prévue de mise en fonctionnement de la tranche 1 du CNPE de Penly.

Cette étude de Surveillance doit permettre de connaître les concentrations dans l'eau des substances chimiques rejetées par le CNPE, de suivre l'évolution naturelle du milieu récepteur et de déceler une évolution anormale qui proviendrait du fonctionnement du CNPE.

L'année 2017, objet du présent rapport, est la vingt-huitième année de fonctionnement du CNPE. Les résultats obtenus au cours de cette trentième année de surveillance contenus dans ce rapport concernent l'étude :

- de la climatologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Franck MAHEUX;
- de l'hydrologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité de Emilie RABILLER;
- de la microbiologie effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité Laure LAMORT;
- du phytoplancton effectuée à la station IFREMER de Port-en-Bessin par le Laboratoire Environnement Ressources de Normandie sous la responsabilité Sylvaine FRANÇOISE;
- du zooplancton réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Elvire ANTAJAN;
- de l'ichtyoplancton réalisée au Centre IFREMER de Boulogne-sur-Mer sous la responsabilité de Christophe LOOTS;
- de la macro-faune l'halieutique réalisée à la station IFREMER de Port-en-Bessin sous la responsabilité de Ivan SCHLAICH.

La coordination et la mise en page ont été assurées à la Station IFREMER de Port-en-Bessin par Ivan SCHLAICH.

(*) Une étude très succincte, dite "d'avant-projet" a été réalisée auparavant par ces deux organismes en 1975 et 1977.

Synthèse

L'année 2017 est la vingt huitième année de fonctionnement du CNPE de Penly, la trentième année des études de surveillance du milieu marin menées par l'Ifremer. Elle peut être qualifiée d'année chaude en raison de l'écart thermique annuel à la moyenne, positif de plus de 1,4°C. L'ensemble de l'année est caractérisé par une douceur constante, la température moyenne de l'air étant au-dessus de la moyenne inter-annuelle. En comparant avec la période 1960-2016, cette année se distingue par un faible excédent annuel de précipitation. Les enregistrements des températures au niveau des condenseurs caractérisent une masse d'eau plus chaude que ce qui est généralement observé sur le site. En dehors de quelques jours aux mois de septembre, les températures se situent au-dessus de la moyenne pluriannuelle, elles sont souvent proches des maxima enregistrés depuis 1991 qu'elles atteignent fin août avec 20,8 °C.

Les observations faites sur la température de l'air au cours de l'année 2017 peuvent, avec quelques nuances, être intégralement reprises pour commenter l'évolution de la température de l'eau de mer pendant la même période. Comme les deux dernières années, 2017 a été caractérisée par une température moyenne élevée (13,6 °C). Des valeurs historiquement hautes (depuis 1960) sont relevées en mars et juin avec respectivement 9,90°C et 17,6 °C. La température de l'eau de mer relevée au niveau du *Canal* suit logiquement cette tendance. Excepté pour le mois de décembre, qui contrairement à l'année dernière (13 mm), présente une forte pluviométrie (159 mm), les hauteurs de précipitations mensuelles de l'année sont faibles, voire très faible pour le mois d'avril qui ne totalise que 7 mm. Cette tendance est observée également pour les débits de la Seine et de la Béthune. Cependant il convient de noter l'absence de données pour les quatre derniers mois de l'année 2017 résultant de travaux effectués par le syndicat de bassin versant de la Béthune actuellement en cours à l'aval immédiat de la station de mesures.
Les résultats obtenus sur les différents paramètres surveillés des deux domaines pélagique et halieutique, selon un plan d'échantillonnage spécifique (Figure A), sont globalement dépendants de ces conditions météorologiques naturelles.

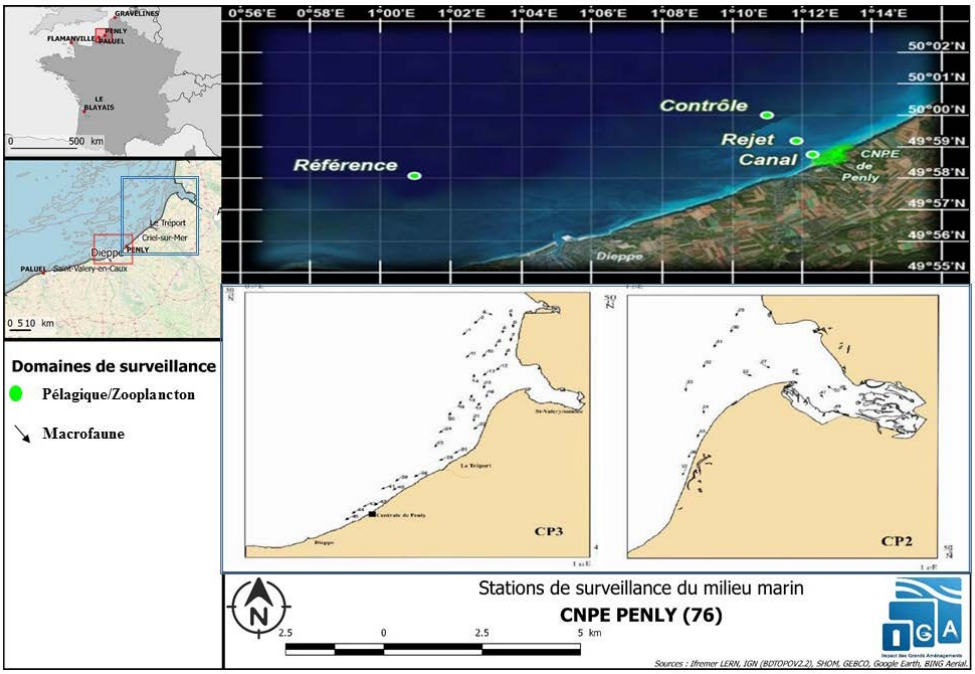


Figure A : Points de prélèvements échantillonnés par Ifremer

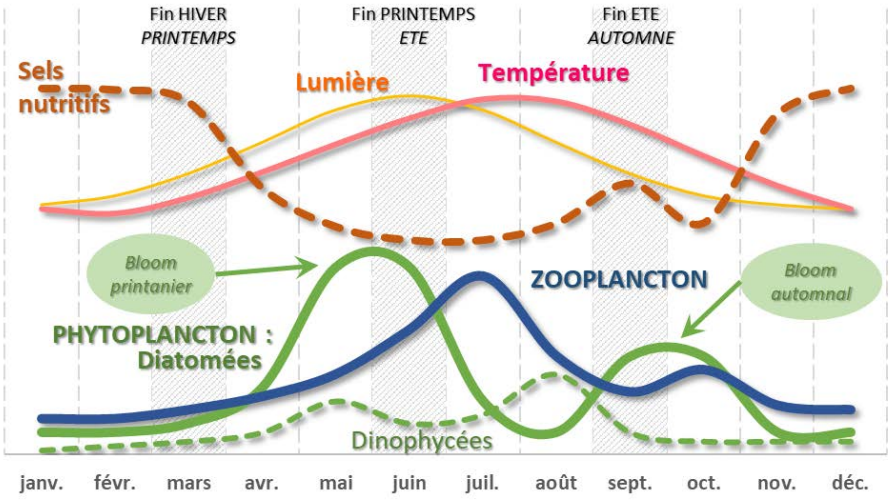
Domaine pélagique

Conformément à la stratégie mise en place pour la surveillance du site de Penly, les points échantillonnés sont disposés selon un gradient côte large en tenant compte de l'influence éventuelle du panache thermique. La localisation des stations a été définie à partir de 1983 en fonction du modèle physique L.N.H de Chatou à partir duquel il existait une possibilité que les trois points soient directement affectés par le panache thermique après la mise en route du CNPE. Un quatrième point témoin appelé référence a été positionné dans le SW de la tâche thermique. Suffisamment distant des rejets du CNPE, il est considéré comme non influencé étant donné que la circulation résiduelle est le plus souvent orientée vers le NE. Cette stratégie d'échantillonnage a été établie dans l'objectif de mettre en évidence une modification du milieu qui pourrait être le signe d'une perturbation liée au fonctionnement du CNPE en dehors de la variabilité temporelle et spatiale d'ordre naturel.

On distingue trois grandes périodes d'échantillonnage dans l'étude du compartiment zooplanctonique sur le site de la CNPE de Gravelines (figure 5.1) :

- l'étude d'avant-projet allant de mars à août 1977 avec une fréquence mensuelle d'échantillonnage sur deux points (*côte 1* et *médian 2*),
- l'étude écologique de référence allant de février 1978 à janvier 1980 avec une fréquence mensuelle à bimensuelle d'échantillonnage sur quatre points (*côte 3*, *médian 4*, *large 5* et *référence 6*),
- L'étude se surveillance qui a débuté en 1987, trois ans après la mise en fonctionnement de la centrale, et qui est toujours en cours. Pour cette étude trois campagnes de prélèvements par année sont réalisées en mars, juin et septembre. Lors de chaque campagne, quatre points sont étudiés :
    - *Canal* (point situé à l'entrée du canal d'amenée du CNPE dans une zone de faible profondeur d'eau et potentiellement influencé par le rejet),
    - *Rejet* (point situé dans les turbulences du rejet d'une tranche en fonctionnement directement influencé par le panache thermique),
    - *Contrôle* (point situé au large du rejet potentiellement influencé par le rejet),
    - *Référence* (point situé au large de Dieppe en dehors de la zone d'influence du panache thermique du CNPE).

Le suivi écologique annuel du domaine pélagique est réalisé de façon continue depuis 1987 en trois périodes saisonnières clés (fin d'hiver, fin de printemps, fin d'été) au regard des cycles biologiques tels que résumés schématiquement dans la figure suivante :



Durant ces trois périodes cibles sont ainsi surveillés les paramètres physico-chimiques (température, salinité, ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, turbidité et MES), biologiques (flore phytoplanctonique, chlorophylle, phaeopigments, production primaire, faune et biomasse zooplanctonique), microbiologique (vibrions halophiles, germes totaux et revivifiables) et chimiques (éthanolamine, hydrazine, trihalométhane, dérivés bromés issus de la chloration). Ils sont comparés aux métriques collectées aux mêmes périodes sur l'ensemble de la série historique jusqu'à N-1

Le matériel et les méthodes d'analyses utilisés en 2017 sont les mêmes que les années précédentes. Les campagnes de 2017 se sont déroulées les 23 mars, 14 juin et 27 septembre, en période de mortes eaux à bord du N/O DELPHY (hydrologie, phytoplancton et zooplancton).

Les résultats obtenus sur les différents paramètres surveillés des domaines pélagique et halieutique, sont globalement dépendants de ces conditions météorologiques naturelles et nous verrons ici qu'elles n'ont pas été sans conséquence sur les paramètres recueillis lors des campagnes, notamment au printemps cette année.

Les données des paramètres **physico-chimiques** mettent principalement en évidence un échauffement de l'eau aux abords des bouches de rejets. Les campagnes de 2017 confirment que cette perturbation thermique reste géographiquement très limitée à une dizaine de mètres autour de ce point.
Pour 2017, les paramètres suivis dans le cadre de la surveillance du compartiment pélagique ne présentent pas de profils atypiques en regard de ce qui est habituellement observé. Les différences spatiales entre les points de suivis (et le point *Référence* en particulier) mettent le plus souvent en évidence un gradient côte-large caractéristique de la variabilité naturelle du milieu à Penly. Si les écarts thermiques entre la station "*Rejet*" et les stations "*Référence*" et "*Contrôle*" observés en 2017 peuvent être considérés comme significatifs, les taux de dilution calculés à partir des écarts des températures aux différents points de mesure sont compris entre 75 et 80 %, ce qui confirme un pouvoir de dispersion et de dilution élevé des rejets quelle que soit la saison.
Le suivi 2017 de l'ensemble des sels nutritifs ne montre pas de tendance comparable applicable à chaque nutriment. Les valeurs estivales de nitrate montrent des niveaux de consommation de nutriments classique malgré un stock hivernal apparent plus élevé qu'habituellement et une recharge effective en automne. Les taux élevés d'oxygène au printemps peuvent avoir probablement limité la dégradation de ces éléments. Malgré ces particularités, le cycle saisonnier attendu est ainsi respecté pour tous les nutriments excepté pour l'ammonium. Les faibles niveaux observés, l'homogénéité saisonnière au point *Référence* et l'absence de cycle saisonnier marqué pour ce nutriment confortent l'hypothèse qu'en 2017 le cycle de l'azote s'est trouvé limité. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.

Au niveau du compartiment **phytoplancton**ique, l'année 2017 apparaît comme une année assez marquée par de faibles valeurs de production primaire potentielle sur l'ensemble de la zone, et ceci au cours des différentes campagnes d'échantillonnage. Ceci traduit une activité photosynthétique peu intense des cellules phytoplanctoniques à proximité du CNPE de Penly. Cette faible activité peut être corrélée avec les abondances phytoplanctoniques et la chlorophylle *a* dont les valeurs sont inférieures à la médiane au printemps et en été.
Ces faibles valeurs peuvent en partie être expliquées par un début de saison tardif. Les concentrations en nutriments disponibles dans le milieu étant au printemps, supérieures à la moyenne laissent supposer que le bloom printanier n'était pas encore démarré lors de la campagne de mars.
Les débits de mars, légèrement supérieurs à la moyenne et surtout supérieurs aux très faibles débits de janvier et février, sont à l'origine d'apports importants en éléments nutritifs (azote, silicate et phosphate) au cours du printemps sur la zone proche du CNPE de Penly.

À l'instar des années précédentes, l'année 2017 a été marquée par une large dominance des diatomées sur l'ensemble de la zone à proximité du CNPE de Penly, avec une évolution de la composition de la communauté de diatomée de la côte vers le large, marquée par la dominance de *Thalassiosira levanderii*.

En ce qui concerne la **microbiologie**, si les germes totaux montrent, en 2017, des niveaux légèrement plus élevés que les années précédentes. La fraction revivifiable reste parmi les plus faibles observées ces dernières années. D'autre part la variabilité spatiale de ces germes, observée entre les points, est très limitée et peu significative du point de vue écologique.

Le cycle saisonnier des vibrions halophiles observé en 2017 reste conforme à ce qui est généralement observé sur ce site. Toutefois, les premiers vibrions observés au printemps 2017 n'étaient présents que sur le point *Référence*. Cette situation est plutôt rare et ne peut être rapprochée que de 2007 et 2012.

Les valeurs observées cette année dans les compartiments physico-chimie, phytoplantonique et microbiologique s'inscrivent dans l'intervalle de celles enregistrées depuis le début du suivi soit deux ans avant la mise en fonctionnement du site de Penly. L'influence des rejets du CNPE n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle des métriques suivies dans ces compartiments du milieu pélagique.

Les abondances **zooplancton**iques observées en 2017 sont globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montrent toujours des abondances significativement plus faibles au point *canal* par rapport aux autres points de prélèvement. La situation géographique particulière de ce point (faible profondeur, enclavement) et la charge en particules sédimentaires expliquent ces faibles abondances. La campagne du mois de mars se distingue toujours des deux autres campagnes par la proportion importante de larves méroplanctoniques, alors que dans les échantillons de juin et septembre ceux sont les organismes holoplanctoniques, copépodes, appendiculaires et chaetognathes, qui dominent la communauté zooplanctonique.

La diversité spécifique des copépodes est faible et composée en général de moins d'une dizaine d'espèces dont la principale peut représenter jusqu'à 78 % des abondances du peuplement.

A noter cette année, la première observation sur le site de Penly d'une espèce non-indigène, *Pseudodiaptomus marinus*, copépode asiatique, signalé pour la première fois en France en 2010 sur le site de Gravelines.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers de la Manche. L'influence des *rejets* du CNPE de Penly n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

Domaine halieutique

Suite à l'étude de projet (1978-1979) qui avait pour objectifs de compléter la connaissance du rôle de cette zone dans l'économie halieutique locale et de préciser la fonction de nourricerie de ce secteur côtier pour les juvéniles de poissons, une méthodologie de travail a été établie définissant la zone à échantillonner, le protocole d'échantillonnage et les observations à effectuer sur les espèces capturées. Le compartiment halieutique a été étudié en prenant en compte les phases larvaire, juvénile puis adulte des principales espèces de poissons observées dans cette zone.

L'**ichtyoplancton** est suivi depuis 1979 mais la stratégie d'échantillonnage a évolué dans le temps. En ce qui concerne les œufs et larves des plie, sole, limande, sprat et sardine, on peut tout d'abord souligner une diminution du nombre de prélèvements au fur et à mesure de la série temporelle et une période d'étude annuelle plus restreinte. En effet si aujourd'hui la série historique des campagnes est complète pour avril et mai (parfois fin mars), les prélèvements avant 2008 ont été effectués aussi en juin et ceux de juillet ont été arrêtés en 1995. Cette modification temporelle de la stratégie d'échantillonnage ne permet pas toujours de circonscrire la totalité des périodes de ponte des différentes espèces ciblées. Ainsi la préciosité des pontes de plie depuis dix ans ne permet plus d'observer suffisamment d'œufs et de larves de cette espèce à partir du mois de la campagne d'avril.

En ce qui concerne la **macrofaune**, un inventaire faunistique a été entrepris dans une zone plus vaste que celle devant être, a priori, influencée par le panache thermique, afin d'inclure la totalité du secteur de nourricerie situé aux abords de l'estuaire de la Somme. Cette zone s'étend de Dieppe à la baie d'Authie et est limitée vers le large par la sonde des 15m, correspondant à une distance de 5-6 milles de la côte. Ainsi, deux types de stratifications ont été définis pour les calculs des indices

d'abondances : un pour les poissons et invertébrés commerciaux et un spécifique pour la crevette grise. A partir de 1979, le programme d'échantillonnage de la macrofaune a été allégé pour ne conserver que deux campagnes, une au printemps début d'été et l'autre en fin d'été début d'automne jusqu'en 1983. A partir de l'étude de surveillance en 1987, seule la campagne de fin aout début septembre a été conservée jusqu'à aujourd'hui. L'abandon de la campagne de printemps a été justifié par le fait qu'à cette période de l'année, les juvéniles de poissons plats (groupe 0), qui nous intéressaient tout particulièrement dans cette étude, étaient très peu présents dans les captures expérimentales.
Les premiers résultats ont permis de déterminer, parmi les espèces exploitées dans la région, celles que l'on peut rencontrer dès la phase juvénile (les individus du groupes 0 nés dans l'année et ceux du groupe 1 qui caractérisent les jeunes d'un an), d'appréhender leur distribution spatio-temporelle et de préciser particulièrement le rôle de la zone de Penly en tant que nourricerie. Il ressort de cela que pour la plupart des espèces exploitées commercialement, l'estuaire de la baie de Somme et ses abords immédiats jouent un rôle très important. Les jeunes individus apparaissent après éclosion des œufs portés par les courants et les vents en priorité sur cette zone avant d'occuper ensuite un secteur plus vaste. La zone avoisinant le site de Penly constitue la partie occidentale d'une importante nourricerie incluant la baie de Somme mais aussi très certainement, bien que les observations n'aient pas été étendues jusque-là, les baies d'Authie et de Canche.
Le rôle de nourricerie de la zone comprise entre Dieppe et Le Tréport, incluant le site de Penly, se révèle surtout important pour trois espèces : la sole, la limande et le tacaud. Les juvéniles de plie et la crevette grise, plus abondants dans nos prospections réalisées au droit de l'estuaire, sont peu observés au sud de la zone, en raison de leur préférence marquée pour la baie de Somme.
L'étude de projet a permis de disposer, pour les espèces échantillonnées sur l'ensemble de la zone prospectée, d'indices d'abondance qui constituent des valeurs indicatives des niveaux de densités par strate.

Les campagnes ichtyoplanctoniques se sont déroulées cette année, les 3 et 20 avril ainsi que les 2 et 17 mai, celles concernant la macrofaune ont eu lieu du 28 au 29 août. Elles ont toutes été réalisées en période de mortes eaux à bord des N/P TIOT HALLE et ORCA.
Comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'**ichtyoplancton**, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2017. Pour ces deux espèces, l'année 2017 semble confirmer l'augmentation de ces espèces déjà observée depuis 3-4 années. Elles sont bien implantées dans cette zone contrairement à la sardine et à la limande dont la présence peut être considérée comme anecdotique. Il faut noter comme à chaque fois une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés.
En ce qui concerne la **macrofaune** on peut avancer que globalement en 2017 les indices d'abondance des deux premières espèces de poissons plats (sole et plie) sont au plus bas depuis le début de la série historique sans toutefois apparaître en dehors de ce qui a pu être observé jusqu'à présent. Ceci principalement à cause de la faiblesse de captures d'individus du groupe 0 et de la baisse de ceux du groupe 1. La densité globale en crevettes grises observée en 2017 se situe parmi les plus faibles indices enregistrés pendant ces campagnes de prospections. L'année 2017 est caractérisée par des captures très faibles d'une manière générale et peut être considérée comme la campagne la moins productive de la série historique sans pour cela être en dehors de ce qui est observé depuis le début de la surveillance.
L'étude des paramètres suivis dans le compartiment macrofaune halieutique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

Les études réalisées par l'Ifremer dans le cadre de la surveillance écologique et halieutique du CNPE de Penly depuis le début de la surveillance ne permettent pas de conclure à l'existence d'un déséquilibre du milieu marin environnant et de ses ressources à partir des différents paramètres analysés.

1 Généralités

Rédaction	Frank Maheux et Benjamin Simon (LERN) Ivan Schlaich (RHPEB)
Données	Météo France (Carpiquet), CNPE Penly (EDF), Banque Hydro (MEDD), Seine Aval (Groupement d’intérêts publics).

1.1 Introduction

Dans le cadre de l'implantation de la centrale électronucléaire de Penly, l'écosystème marin environnant a fait l'objet de différentes études scientifiques :

- **Étude d'avant-projet** (mars à août 1977)
- **Étude de projet** (1er et 2ème cycles, février 1978 à janvier 1980)
- **Études de surveillance** (depuis 1987).

Les objectifs de ces études étaient dans un premier temps de fournir à Electricité de France les contraintes d'ordre « écologique » intervenant au niveau du choix du site (étude d'avant-projet). Il s'agissait aussi de définir un état de référence avant l'implantation de la centrale (études de projet) ainsi que de permettre l'évaluation des fluctuations naturelles des principaux paramètres physico-chimiques du compartiment pélagique afin de détecter une éventuelle incidence du fonctionnement de la centrale sur le milieu marin (étude de surveillance). Ce rapport présente les résultats scientifiques concernant la 28ème année depuis la mise en service de la centrale de Penly (1990).

1.2 Géographie

La centrale de Penly est située sur le littoral normand (figure 1.1), au niveau d'une petite valleuse, entre le Tréport et Dieppe, sur le territoire de la commune dont elle porte le nom. Le littoral, orienté SW/NE, est bordé de hautes falaises et composé de bancs calcaires alternant avec des lits de silex. Les falaises du littoral normand sont entaillées de valleuses au débouché desquelles les galets se sont accumulés et forment des cordons littoraux.

Figure 1.1 : Situation géographique du Centre National de Production d'Electricité de Penly

On peut distinguer trois types fondamentaux d'estrans :

- **L'estran profond :** il ne découvre pratiquement pas ; on le rencontre dans les secteurs de pointes rocheuses (Etretat, Antifer),

- **L'estran de pied de falaises :** c'est l'estran type du littoral haut-normand et celui qui se trouve à Penly. Devant la falaise s'étend un platier rocheux (de 200 m à 400 m de large) sur lequel les matériaux meubles ne se rencontrent en général qu'en pied de falaise sous la forme d'un cordon de galets plus ou moins développé mais le plus souvent de 10 m à 20 m de large et de 1 m de haut.

- **L'estran d'accumulation :** rencontré au débouché des valleuses, son développement a souvent été favorisé par l'implantation d'ouvrages portuaires (Le Havre, Fécamp, St-Valery-en-Caux, Dieppe, Le Tréport). Le cordon de galets est alors bien formé avec une largeur de 40 à 50 m. Les sables et graviers font suite aux galets.

1.3 Géologie

A la fin de l'Ère Primaire (- 245 Millions d'Années), la majorité du territoire français est émergée, mais au cours de l'Ère Secondaire (- 245 à - 65 MA) plusieurs cycles d'immersion / émersion se sont succédé.

Pour la Normandie, le plus important de ces épisodes réside dans la *Mer de Craie* qui recouvra la région de - 97 à - 70 MA. Dans cette mer côtière peu profonde, sédimentèrent d'innombrables micro-organismes à test calcaire. Leur accumulation sera à l'origine d'une roche calcaire tendre : la craie, parfois appelée *Marne* dans la région (figure 1.2).

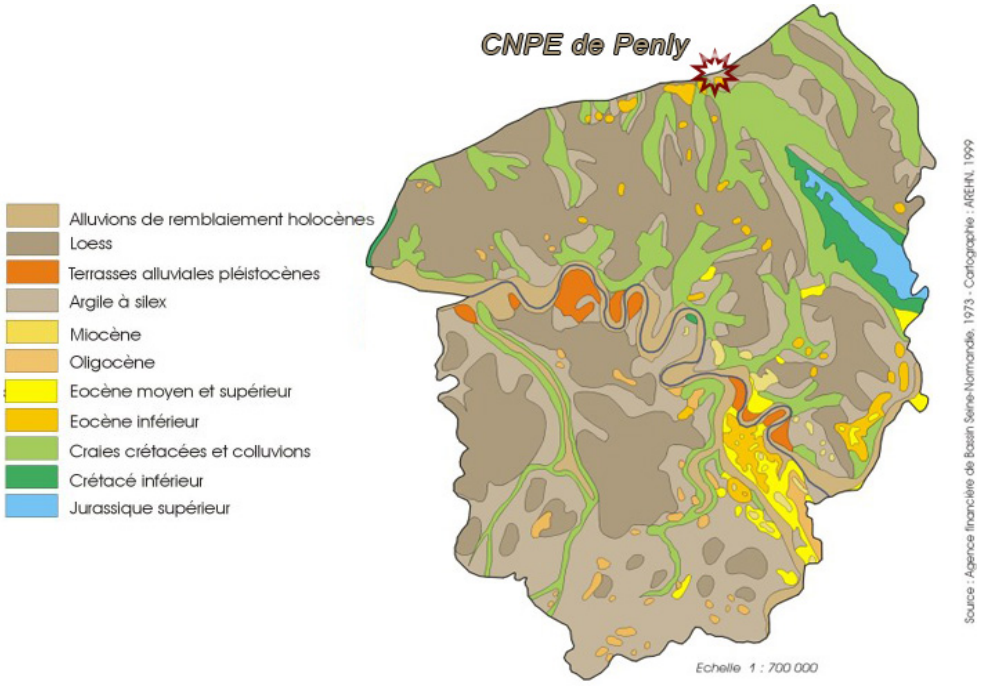


Figure 1.2 : Carte géologique

Dans cette mer vivaient aussi des organismes à test siliceux qui ont été à l'origine des rognons de silex enfouis dans la craie, qui constitue aujourd'hui l'ossature géologique de toute la Normandie, à l'exception du Pays de Bray, où une importante faille a permis la remontée des sédiments plus anciens et variés.

Plus récemment, à l'Ère Tertiaire (- 65 à - 2 MA) le phénomène le plus marquant est l'altération continentale : la craie est dissoute par les eaux de pluie, mais le silex et les argiles, inaltérables, forment un manteau brun ou rouge qui peut dépasser une vingtaine de mètres d'épaisseur.

Lors des deux derniers millions d'années, la calotte glaciaire est descendue à plusieurs reprises jusqu'au niveau des Pays-Bas. Le climat de la Normandie était alors périglaciaire, avec une végétation de steppe. Les limons entraînés par les vents étaient alors à l'origine du Lœss, de couleur jaune et d'une épaisseur d'une dizaine de mètres en Pays de Caux. A la fin du Tertiaire les cours d'eau s'enfonçaient dans le substrat meuble, creusant ainsi des vallées profondes, comme celle de la Seine.

Les sédiments marins aux alentours de la centrale de Penly sont essentiellement composés de sable et sable graveleux (figure 1.3). Dans cette région de la Seine Maritime, les sédiments les plus grossiers se situent entre Etretat et St Valéry-en-Caux. De chaque côté, un gradient vers des sédiments plus fins s'établit, pouvant aller jusqu'aux vases dans l'embouchure de la Seine.

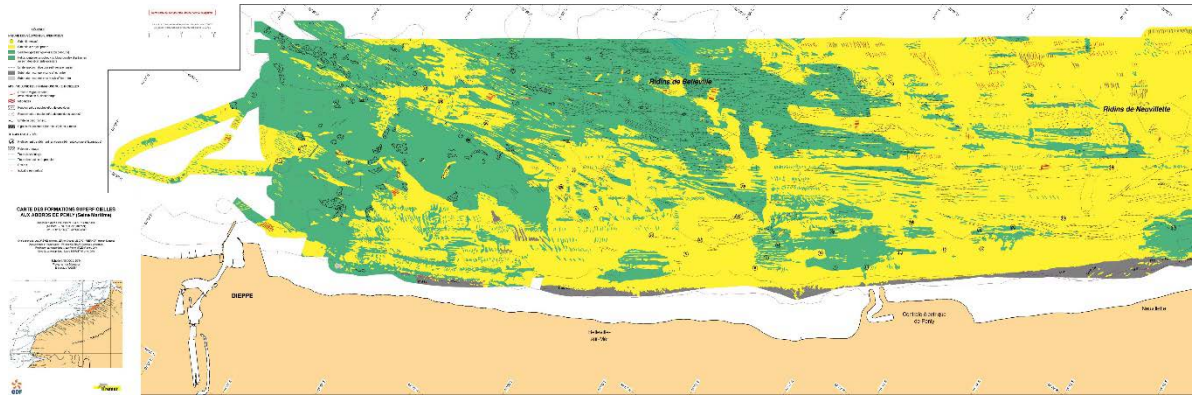


Figure 1.3 : Caractéristiques des sédiments marins autour de la centrale de Penly (Drévès *et al.* 2008)

Tous les quatre ans depuis 1988 une étude dédiée au benthos et aux sédiments marins était réalisée sur la zone proche du CNPE de Penly. A partir de la campagne Bencaux en 2008, les prospections biomorpho-sédimentaires sont effectuées tous les six ans (décision ASN n° 2001-DC-089). L'évolution des fonds et des peuplements benthiques est alors décrite dans un rapport adressé à EDF (Abernot *et al.*, 2008). La dernière campagne réalisée en 2014 a fait l'objet d'un rapport transmis à EDF en 2017.

1.4 Hydrographie continentale

Le faible développement du réseau hydrologique continental haut-normand est dû essentiellement à la perméabilité du sol, qui permet l'écoulement souterrain des eaux au lieu du ruissellement de surface. Seul le Pays de Bray possède un important réseau de surface qui se développe sur des assises géologiques imperméables (figure 1.4).

Le réseau hydrologique de Seine-Maritime est composé de petits effluents de la Seine et de fleuves côtiers de quelques dizaines de kilomètres se jetant dans la Manche. Ces rivières peuvent avoir un parcours de surface si les couches géologiques imperméables le permettent, ou en partie souterraines, si la craie affleure. Ce phénomène donne naissance aux vallées sèches.

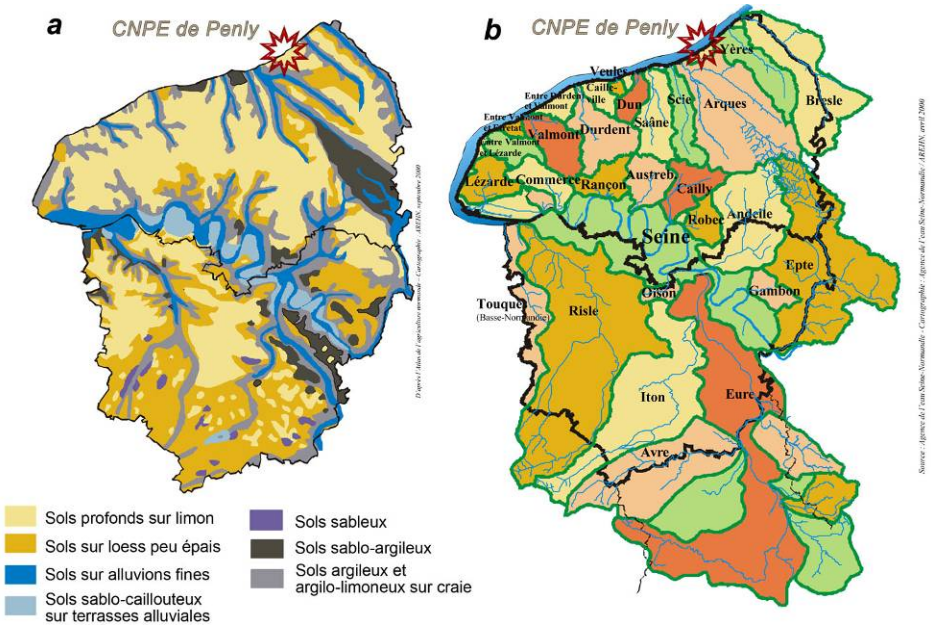


Figure 1.4 : Nature du sol (a), fleuves et bassins versants (b)

1.5 Hydrographie marine

1.5.1 Marées

La marée est de type semi-diurne. À Dieppe, ses caractéristiques sont les suivantes :

Type de marée	Coefficient	Hauteur d'eau (m)
Vive-eau moyenne	95	8,50
Marée moyenne	70	4,94
Morte-eau moyenne	45	4,90

Tableau 1.1 : Caractéristiques de marées à Dieppe

1.5.2 Courants

On distingue les courants périodiques et les courants apériodiques. Les courants périodiques sont essentiellement les courants de marée alternatifs et parallèles à la côte. Le flot, d'une durée moyenne de 5 heures, porte vers le N-NE à une vitesse de 0,5 à 1 m/s (soit 1 à 2 nœuds).

Le jusant, d'une durée approximative de 7 heures, porte vers le W-SW avec une vitesse inférieure, de 0,4 à 0,6 m/s. La renverse a lieu environ 4h30 et 1h30 avant la pleine mer de Dieppe. De ce fait, le flux net au cours d'un cycle de marée est celui d'un déplacement des masses d'eau vers le N-NE dans le sens du flot. Ce déplacement est dû au courant de marée provenant de l'Atlantique et qui prend une vitesse importante au-delà de Cherbourg. Vers Dieppe, la vitesse du courant en vives-eaux peut atteindre 1,9 nœud pendant le flot et 1,6 nœud pendant le jusant (figure 1.5).

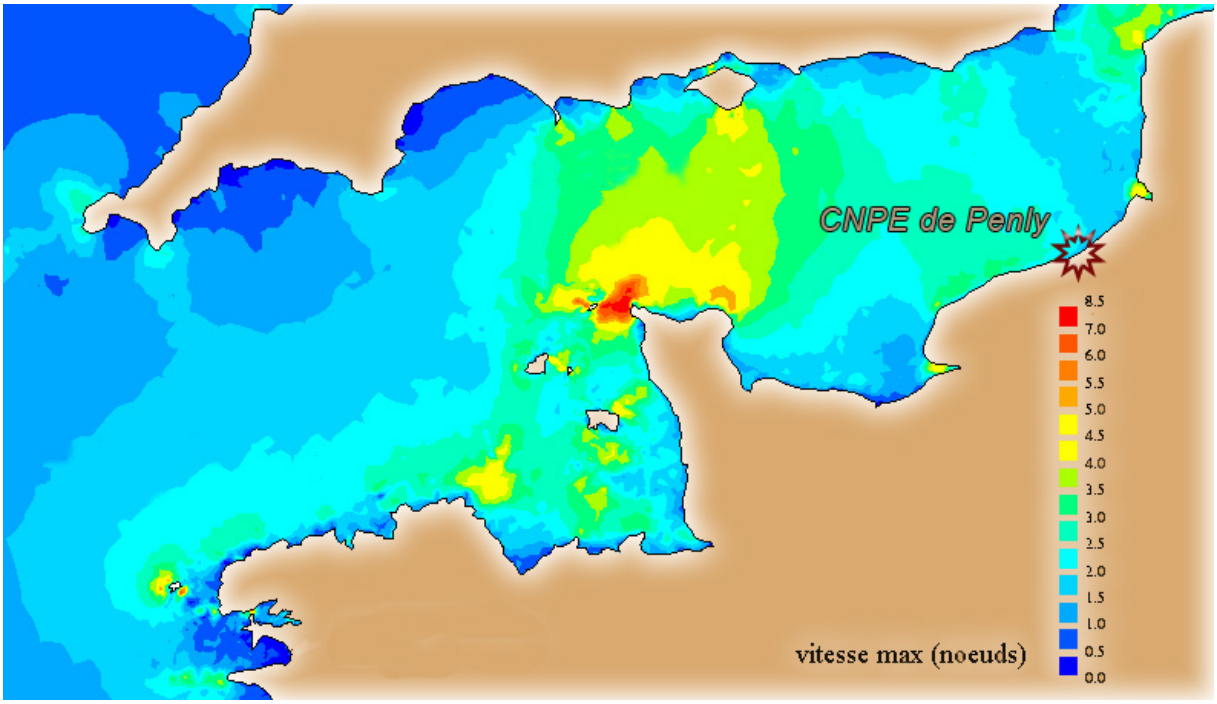


Figure 1.5 : Vitesse de courants de marée maximal en Manche (Source SHOM)

Les courants apériodiques sont essentiellement dus à l'action prolongée d'un régime de vents stables entraînant les masses d'eau. Ainsi une période de vent d'ouest durable peut créer un courant portant à l'est tandis qu'une période de vent de nord-est peut créer un courant portant au sud-ouest. Ces courants de dérive dus au vent peuvent atteindre 2 à 5 % de la vitesse du vent.

Une des principales caractéristiques dégagées des études précédant l'installation de la centrale était d'avoir mis en évidence l'influence des eaux provenant de la baie de Seine. Si cette influence est certaine par l'action du fleuve côtier, elle peut cependant être irrégulière (Brylinski *et al*., 1991).

1.5.3 Apports telluriques

La figure 1.4 présente le réseau hydrologique de la Seine-Maritime. A l'ouest de Penly se trouvent l'*Arques* et la *Saâne*, qui sont fleuves côtiers moyens de fort débit irrégulier. Les apports telluriques à l'est du site du CNPE sont constitués par l'Yères et la Bresle. Les apports d'eau douce au niveau de Dieppe peuvent être importants et peuvent potentiellement engendrer des pollutions anthropiques provenant soit du port soit de la station d'épuration de la ville de Dieppe.

1.6 Climatologie

1.6.1 Le climat en Normandie

Trois influences principales peuvent se manifester dans cette partie de la région Normandie (figure 1.6) :

- L'influence maritime : plus marquée dans le Pays de Caux et le nord-ouest de l'Eure, avec un climat doux et humide, des hivers modérément froids et des étés tempérés,
- L'influence continentale : essentiellement au nord-est de la Seine et de manière moins classique, sur une frange littorale qui va du Tréport à Fécamp. C'est dans cette zone que se trouve la centrale de Penly. L'amplitude thermique est plus importante qu'ailleurs : hivers plus froids et étés plus chauds,
- L'influence méridionale : remontant du sud-est de l'Eure jusqu'à Rouen.

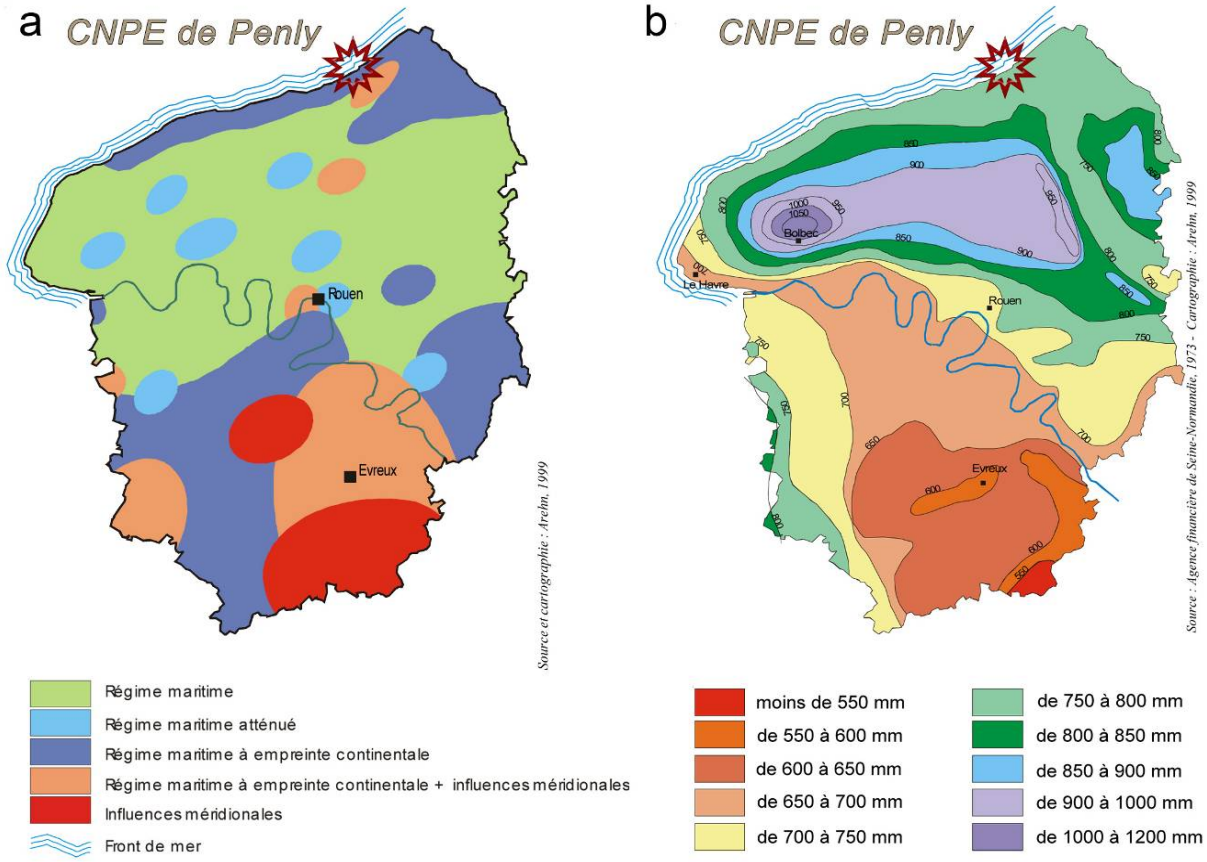


Figure 1.6 : Situation climatologique (a) et pluviométrie moyenne annuelle (b) sur 30 ans

Cette partie de la région Normandie est caractérisée par de larges écarts de précipitations. Le secteur de Bolbec (Seine Maritime) est caractérisé en moyenne par 1100 mm de précipitations par an, tandis qu'au sud-est de l'Eure, seulement 500 mm par an sont enregistrés (figure 1.6). Cette dernière valeur est l'une des plus faibles de France, à égalité avec la Côte d'Azur. Les régions les plus fréquemment touchées par des forts événements pluvieux sont le Bec-de-Caux et le Lieuvain.

1.6.2 Pluviométrie

A Dieppe depuis 1950, la quantité de pluie annuelle cumulée présente des variations avec des cycles de 3 à 5 ans (figure 1.7). Ces cycles, mieux représentés par la moyenne mobile sur 5 ans, semblent mettre en évidence une augmentation de leur fréquence sur les dernières quinze années. Le cumul pluviométrique annuel pour l'année 2017 est de 848,4 mm. A titre comparatif, le niveau des pluies cumulées pour la même période était en 2015 de 736,1 mm et en 2016 de 816,7 mm.

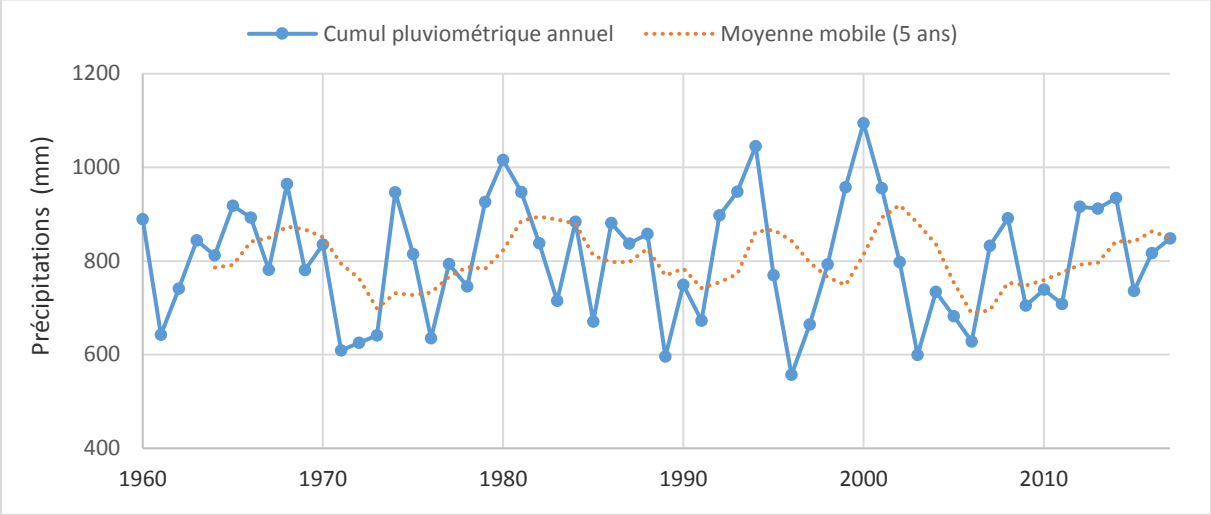


Figure 1.7 : Précipitations moyennes annuelles à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La moyenne des précipitations annuelles entre 1960 et 2016 est de 803,8 mm. Sur la dernière décennie, l'écart des valeurs annuelles à cette moyenne montre que la période 1999- 2001 a été excédentaire. De 2002 à 2006 ce bilan est déficitaire, et ce n'est qu'à partir de 2007 et 2008 qu'il redevient positif. Depuis 2009, ce bilan est à nouveau déficitaire jusqu'en 2011, puis excédentaire jusqu'en 2017 (44,6 mm) à l'exception de l'année 2015 qui se caractérise par un déficit de 67,7 mm.

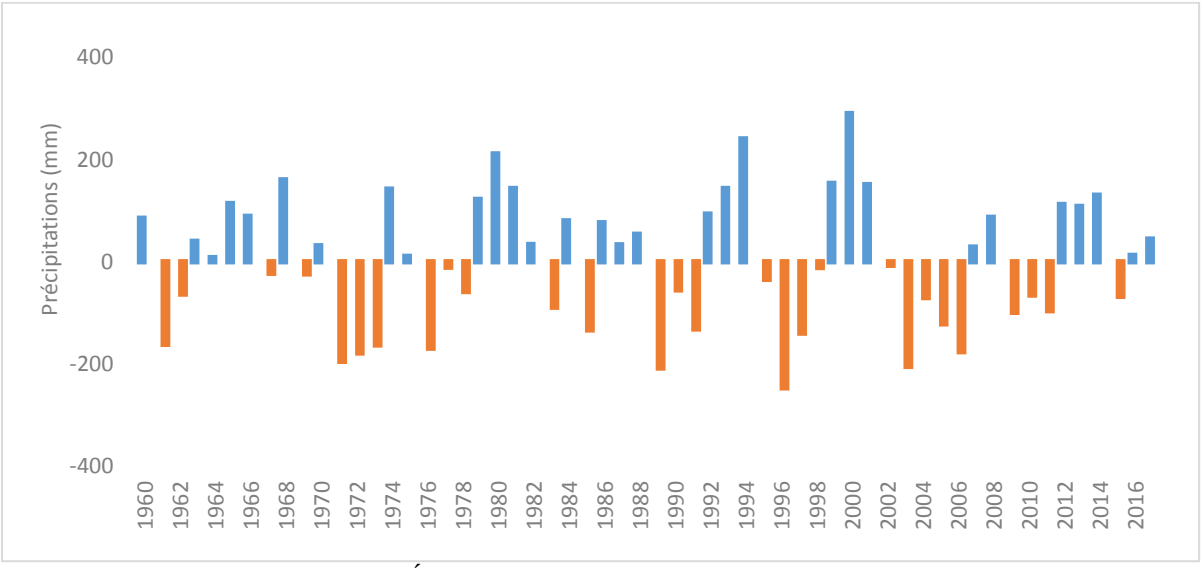


Figure 1.8 : Écarts annuels de pluie à la moyenne 1960-2017

Le découpage des précipitations par périodes quinquennales présente une alternance des cycles qui oscillent autour de la moyenne, suivi d'une décroissance générale des valeurs depuis 1980 (figure 1.9).

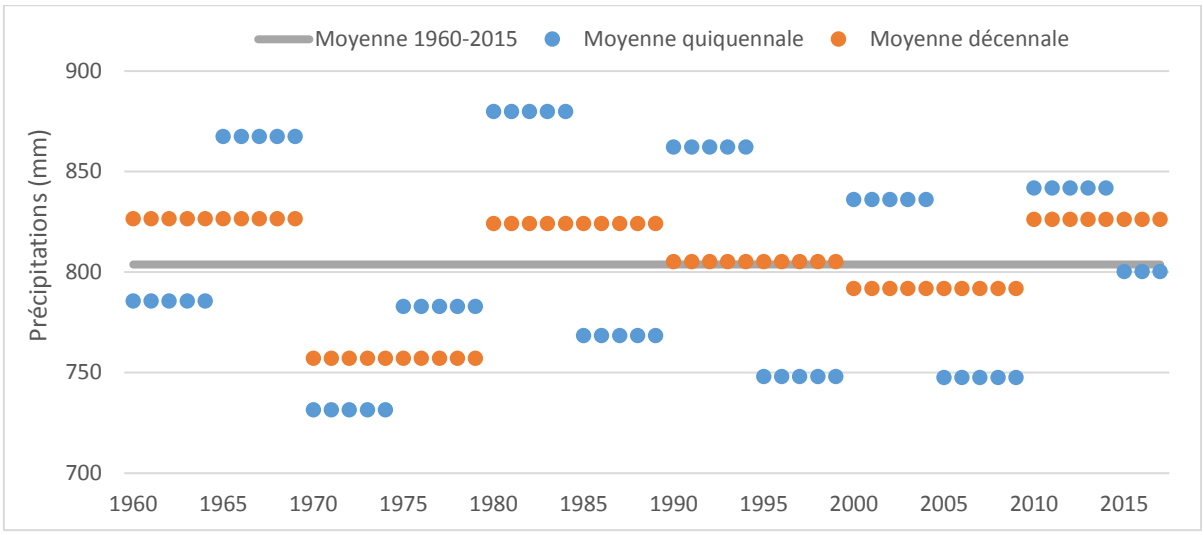


Figure 1.9 : Valeurs moyennes de précipitations à Dieppe par période quinquennale (points bleus) et décennale (points orange). Le trait gris représente la moyenne sur la période 1960-2017

La figure 1.10 présente les hauteurs de précipitations mensuelles en 2017, la moyenne interannuelle ainsi que les minima et maxima pour la période 1960-2016. Deux valeurs sont remarquables en 2017 :

- Celle d'avril avec 7,8 mm proche du minima (1,4 mm) datant de 2007
- Celle de décembre avec 159 mm contre 13,1 relevée l'année dernière

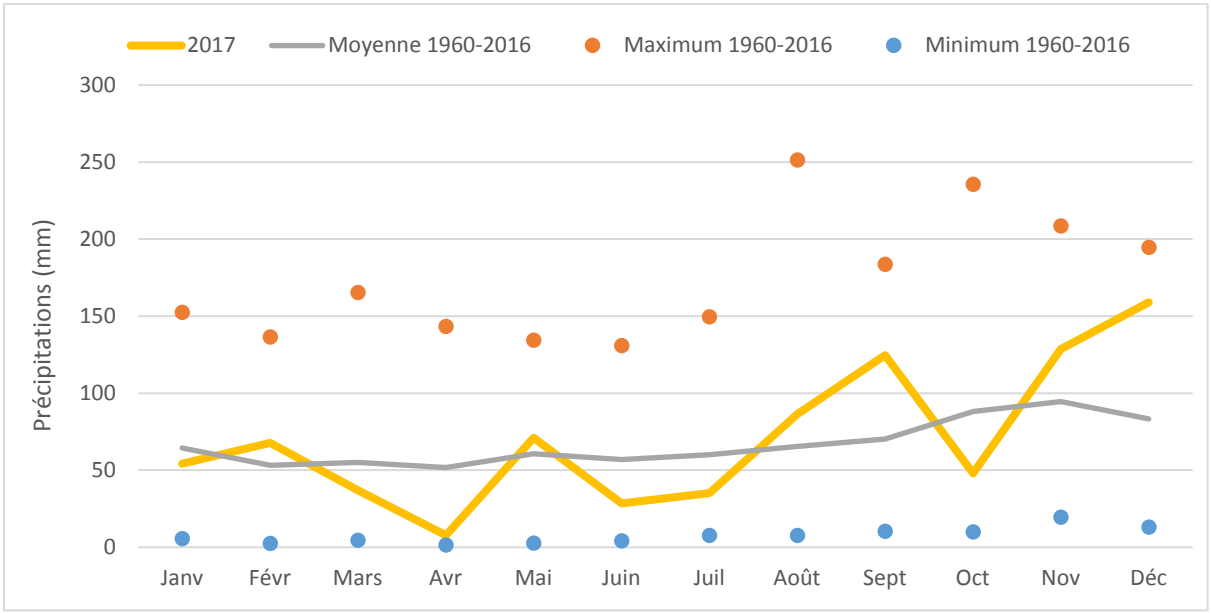


Figure 1.10 : Hauteur de précipitations mensuelles à Dieppe en 2017 et au cours de la période 1960-2016

1.6.3 Température de l'air

Les températures moyennes annuelles enregistrées à Dieppe depuis 1960 présentent des cycles irréguliers avec une nette tendance à la hausse depuis 1988 (figure 1.11). La moyenne mobile sur cinq ans exprime plus clairement la tendance évolutive de ce paramètre lors des vingt-neuf dernières années. Les moyennes mensuelles extrêmes ont été enregistrées en janvier 1963 (-2,30°C) et en juillet 2006 (19,80°C). Le plus grand écart thermique au cours de cette période a été mesuré en 1997 (18,22°C), le plus faible en 1974 (10,50°C), celui de 2017 étant 14,7°C.

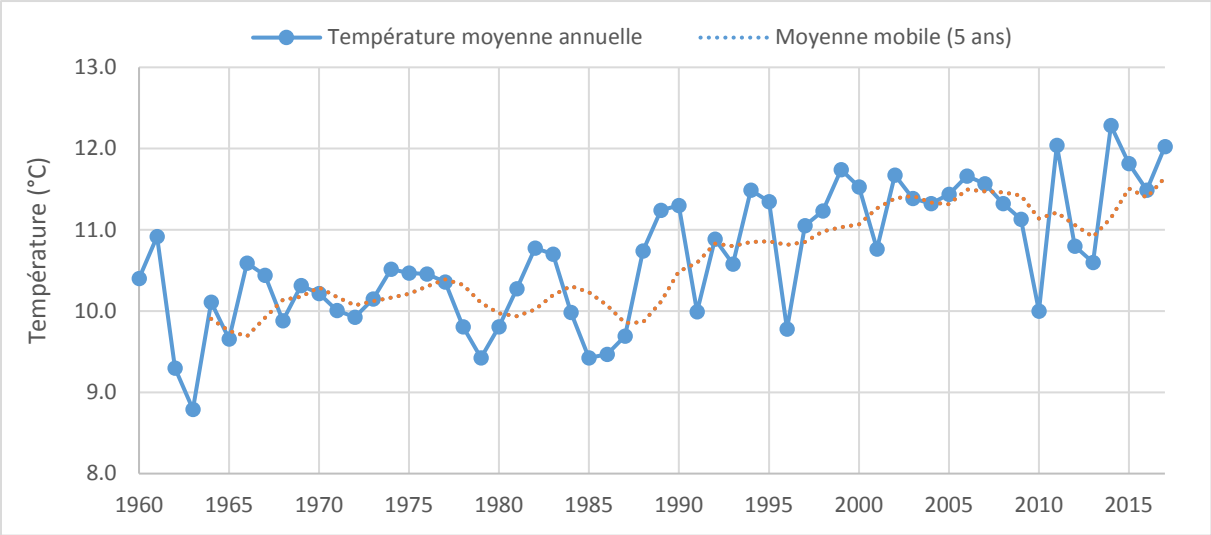


Figure 1.11 : Température moyenne annuelle à Dieppe depuis 1960 et moyenne mobile sur cinq ans

La tendance décrite précédemment est clairement mise en évidence par les écarts des valeurs annuelles à la moyenne générale de la période 1960-2016 (figure 1.12). L'écart thermique à la moyenne qui était remarquable en 2014 (+ 1,62 °C) car le plus important depuis le début de cet historique (1960) n'est plus que de 1,37°C en 2017.

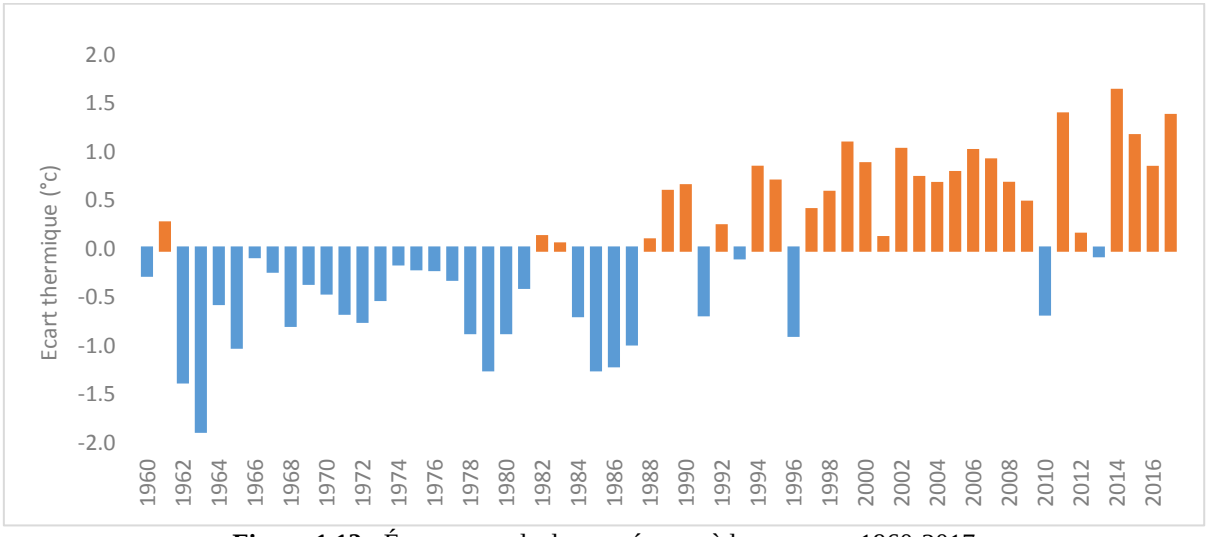


Figure 1.12 : Écarts annuels de température à la moyenne 1960-2017

L'évolution des découpages en périodes quinquennales ou décennales met en évidence l'augmentation de la température à partir des années 1990 (figure 1.13). A partir de cette date, les moyennes quinquennales et décennales deviennent supérieures à la moyenne établie sur la période 1960-2016. Moins important sur la période 2010-2014 (+ 0,5°C), cet écart de température à la moyenne est de nouveau nettement supérieur, voire remarquable depuis 2015 (+ 1,1°C).

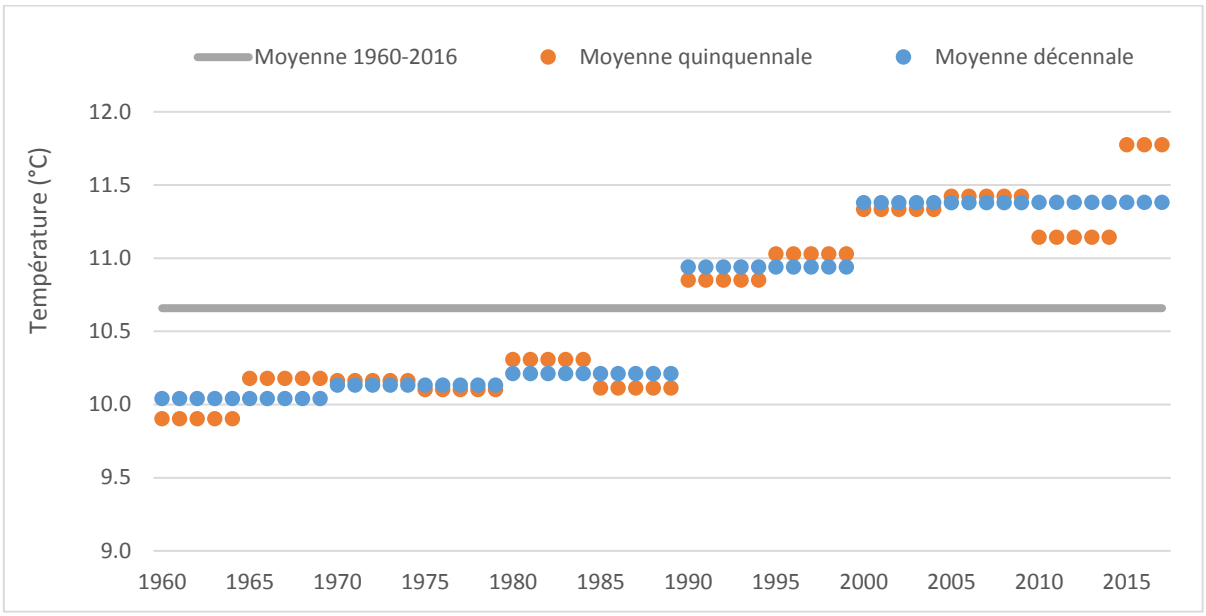


Figure 1.13 : Valeurs moyennes de température de l'air à Dieppe par période quinquennale (points orange) et décennale (points bleus). Le trait gris représente la température moyenne de la période 1960-2017.

Comme les trois dernières années, 2017 a été caractérisée par une température moyenne élevée (12°C). A l'exception du mois de janvier très légèrement inférieur à la moyenne, les températures observées le reste de l'année sont toutes supérieures à la moyenne de cet historique, en particulier en mars et juin avec respectivement 9,90°C et 17,6 °C, valeurs historiques depuis 1960.

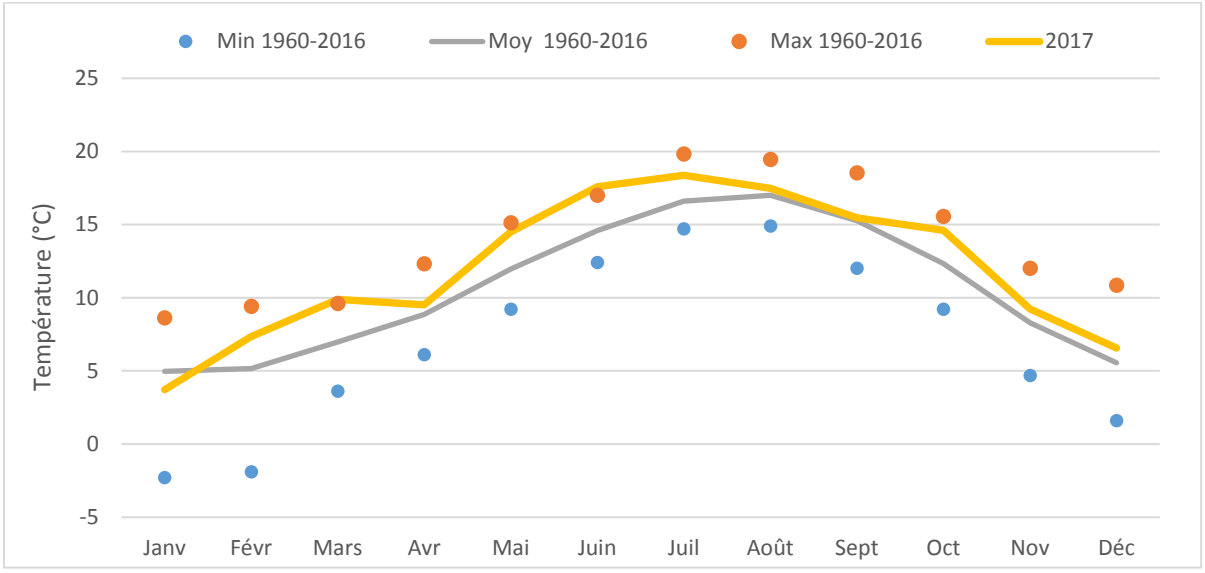


Figure 1.14 : Température moyenne mensuelle de l'air à Dieppe en 2017 et au cours de la période 1960-2016

1.6.4 Débits de la Seine et de la Béthune

A l'exception des mois de mars, septembre et décembre, les valeurs de débit de la Seine enregistrées en 2017 sont toutes inférieures à la moyenne établie sur la période 1941-2016. En effet, la moyenne annuelle de cette année 2017 est de 332 m^3/s alors que celle de la période 1941-2016 est de 438,81m^3/s.

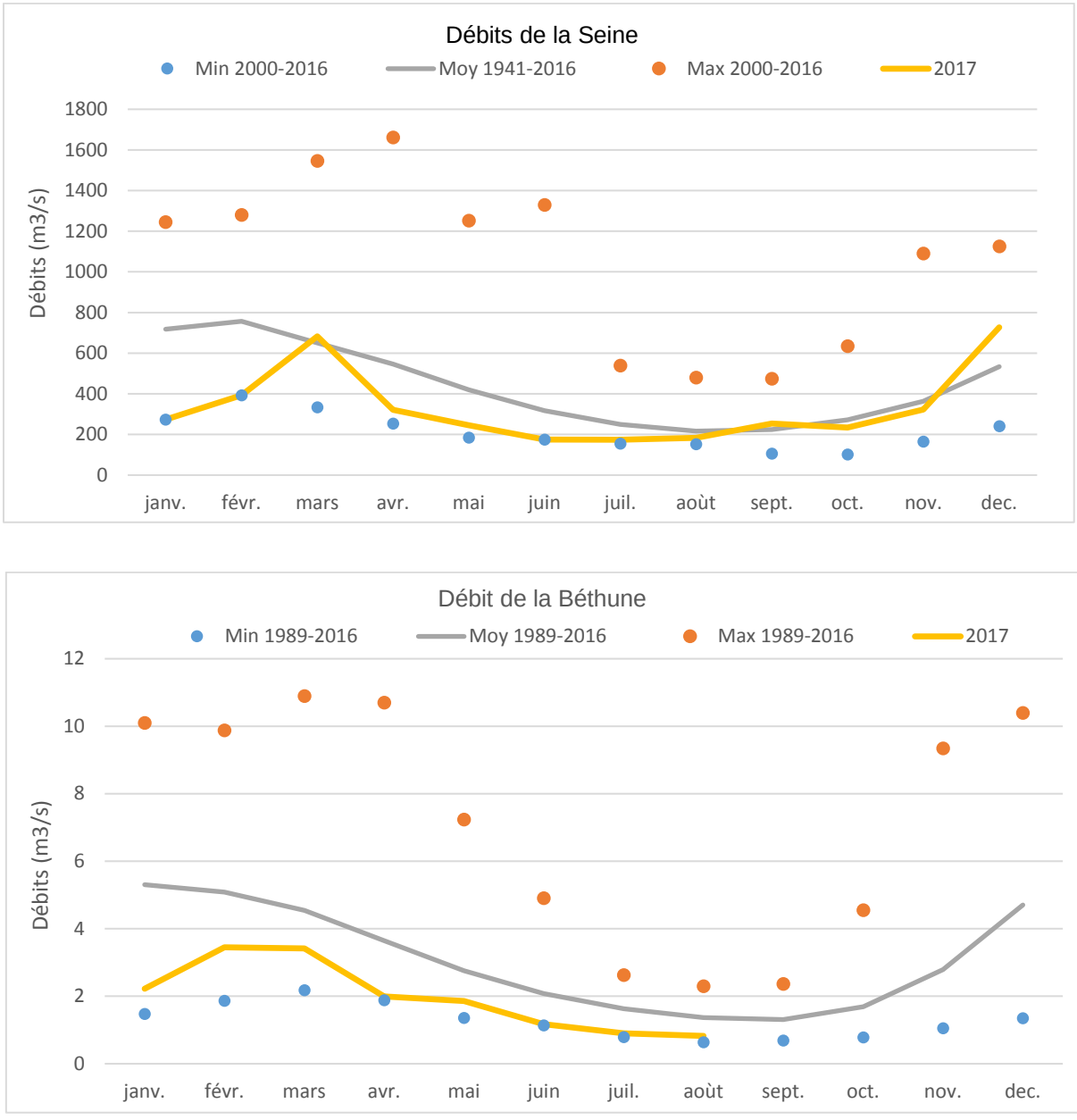


Figure 1.15 : Débit mensuel moyen de la Seine (à Vernon) et de la Béthune en 2017

Les débits de la Béthune mesurés au cours de l'année 2017 sont tous inférieurs à la moyenne de la période 1986-2016. Cependant il convient de noter l'absence de données pour les quatre derniers mois de l'année 2017. En effet des travaux effectués par le syndicat de bassin versant actuellement en cours à l'aval immédiat de la station remettant ainsi en cause la courbe de Tarage, la chronique de débit est arrêtée depuis septembre et ne pourra reprendre qu'à la fin des travaux prévus courant 2018 (source : DREAL Normandie).

1.7 Température de l'eau de mer

Le CNPE de Penly, situé au nord de la ville de Dieppe, produit de l'énergie électronucléaire à l'aide de deux tranches de 1 300 MW chacune. L'eau de mer pompée dans le canal d'amenée permet par le biais d'un circuit de refroidissement indépendant de condenser la vapeur créée par les générateurs de vapeur. Les rejets en mer sont réalisés par deux galeries sous-marines d'environ 1,2 km de long, se terminant par un diffuseur.

La tranche 1 a été arrêtée du 12 août au 16 novembre. Les périodes de forte activité du CNPE de Penly se situent cette année sur deux périodes distinctes : de janvier à mi-août, de mi-novembre au 31 décembre. En dehors de ces périodes la puissance est divisée par deux (figure 1.16).

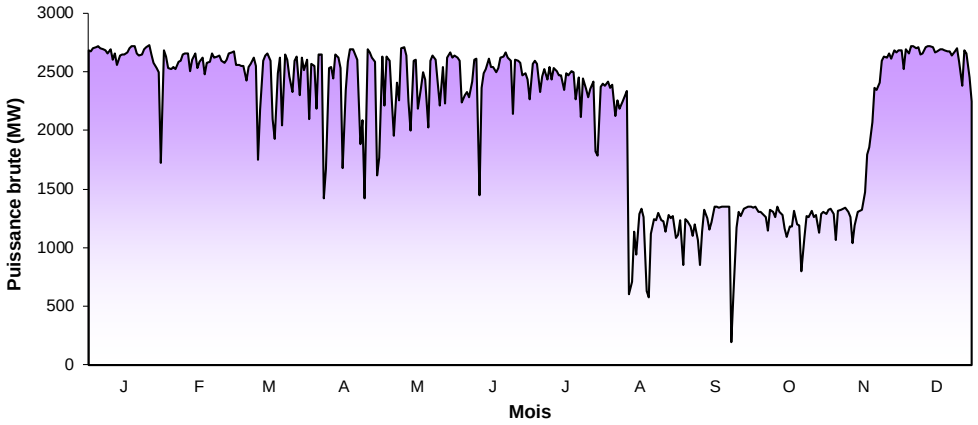


Figure 1.16 : Puissance journalière brute des deux tranches du CNPE de Penly au cours de l'année 2017

La figure 1.17 présente la température journalière enregistrée dans la partie du circuit de refroidissement des installations situé dans la salle des machines (entrée condenseur), comparée à la moyenne des températures journalières enregistrées depuis 1991. Les températures maximales et minimales sont présentées par un trait rouge et bleu respectivement pour la période 1991-2016. En 2017 la moyenne des températures de l'eau de mer est le plus souvent au-dessus de la température moyenne enregistrée entre 1991 et 2016.

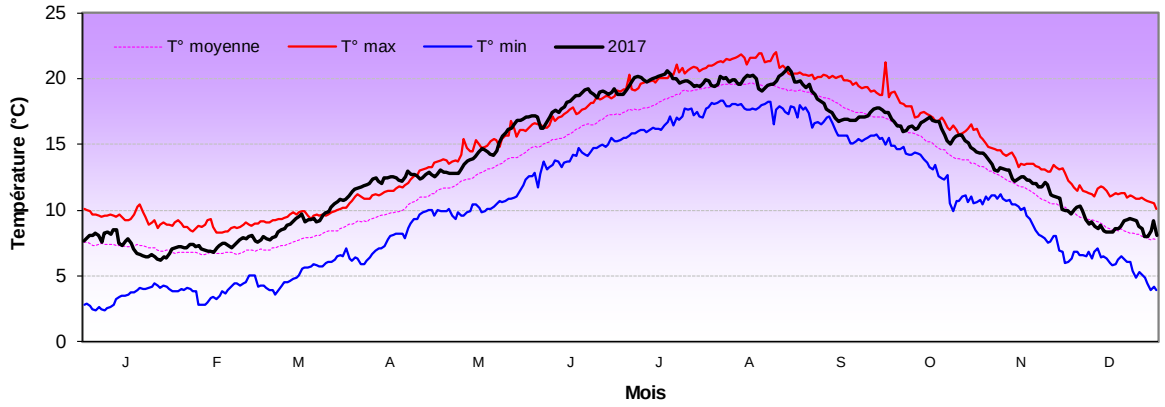


Figure 1.17 : Évolution de la température moyenne journalière de l'eau de mer enregistrée à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly au cours de l'année 2017 et moyenne journalière sur la période 1991-2016

La température la plus basse a été enregistrée le 27 janvier avec 6,2°C. Elle est très proche des plus hauts historiques sur certaines parties de l'année, notamment de mars à juillet. La température maximale est atteinte le 29 août avec 20,8°C soit 1,2°C en dessous du maximum enregistré le 24 août 1995. Les valeurs des températures de l'air mesurées à Dieppe (fournies

par Météo France pour l'année 2017) et celles de l'eau de mer fournies par EDF présentent des variations similaires. Il existe d'ailleurs une corrélation linéaire significative (n=12 ; r^2=0,90 ; p<0,005) entre la température de l'air et celle de la colonne d'eau (figure 1.18).

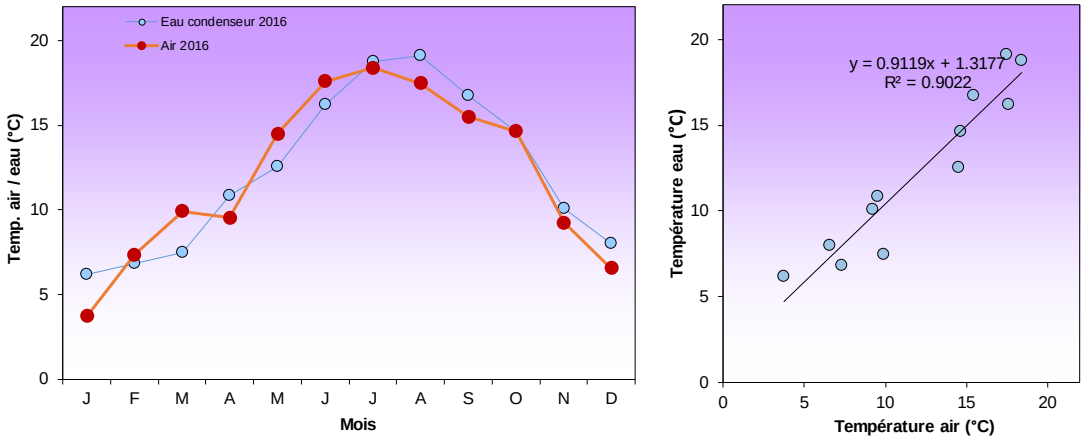


Figure 1.18 : Évolution des températures moyennes mensuelles de l'air à Dieppe et de l'eau de mer à l'entrée des condenseurs du CNPE de Penly en 2017

Le passage de l'eau du canal d'amenée dans le circuit secondaire des condenseurs génère une augmentation de la température de cette eau, qui est ensuite évacuée dans la canalisation de rejet.

L'augmentation de la température à la sortie de chaque condenseur est présentée dans la figure 1.19.

Chaque descente du trait rouge vers la température relevée à l'entrée du condenseur représente une diminution de la puissance produite par le réacteur ou de son arrêt total si les deux traits coïncident.

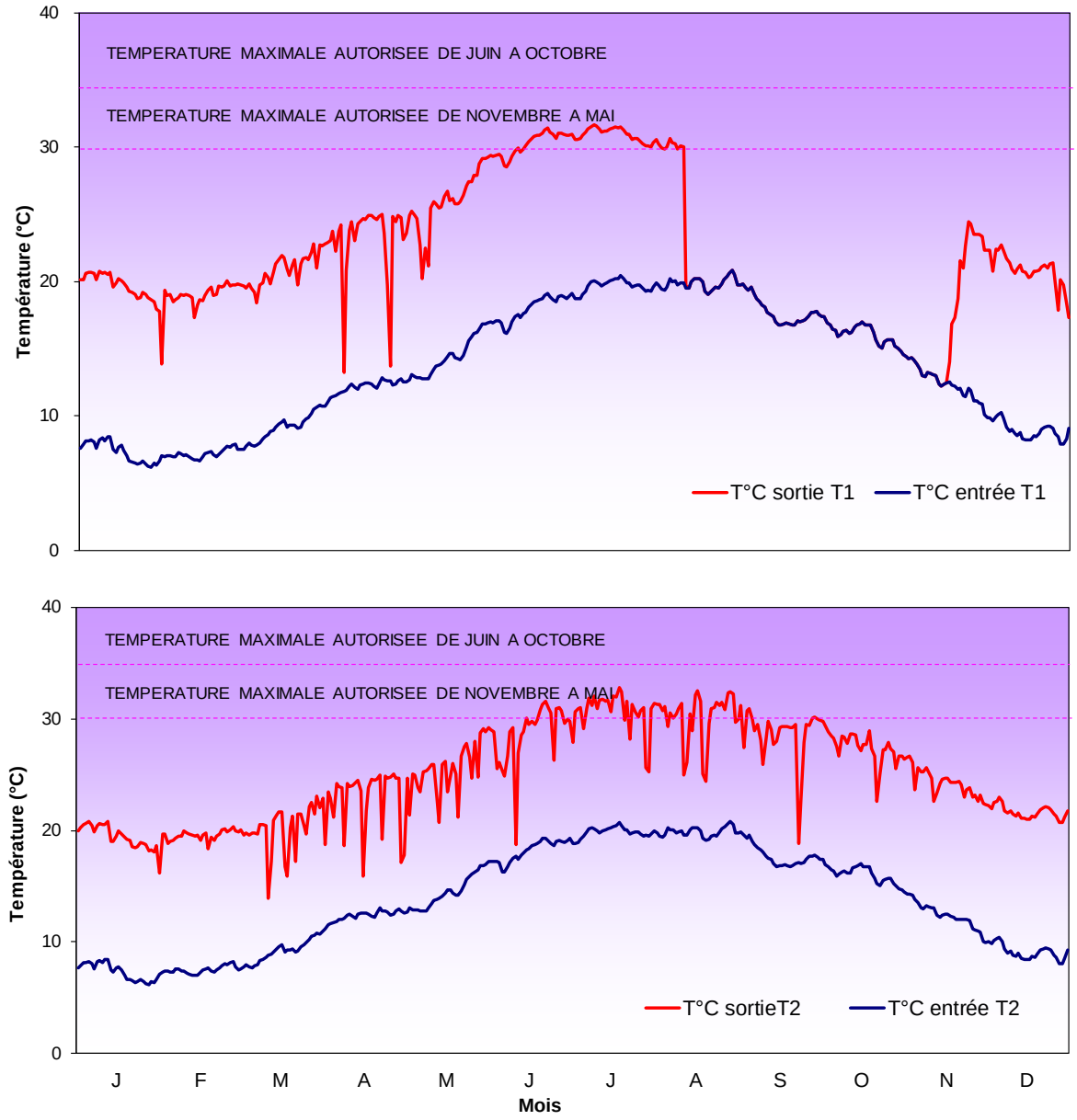


Figure 1.19 : Températures journalières de l'eau de mer à l'entrée et à la sortie des condenseurs pour chacune des deux tranches T1 et T2 du CNPE de Penly en 2017

L'écart de température journalier moyen entre l'entrée sortie de chaque condenseur et l'eau du canal d'amenée est présenté sur la figure 1.20. Les variations de cet écart thermique sont similaires à celles de la puissance brute produite (figure 1.16).

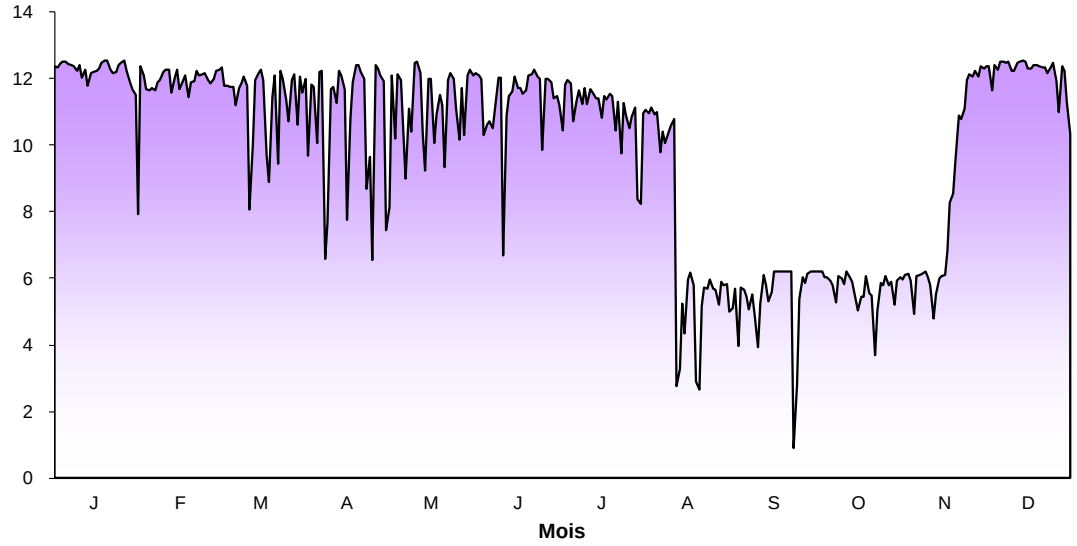


Figure 1.20 : Écarts journaliers moyens de température entre la sortie des deux condenseurs et le canal d'amenée au cours de l'année 2017

1.8 Electrochloration

En 2017, le procédé d'antisalissure par électrochloration a fonctionné pleinement à partir du mois d'avril pour la tranche 1 et du mois de mai pour la tranche 2. Comme l'indique le tableau 1.2 ci-dessous, 675 tonnes de chlore ont été injectées dans les circuits de refroidissement d'avril à décembre 2017. Le maximum de production de chlore dans les circuits de refroidissement est de 116 tonnes au mois de juin.

MOIS	Tranche 1	Tranche 2	Total
Janvier	0,0	0,0	**0,0**
Février	0,0	0,0	**0,0**
Mars	30,6	17,7	**48,3**
Avril	65,6	39,7	**105,3**
Mai	60,3	54,4	**114,7**
Juin	57,1	59,1	**116,3**
Juillet	24,6	63,0	**87,6**
Aout	9,5	64,4	**73,9**
Septembre	0,0	58,8	**58,8**
Octobre	2,1	64,5	**66,6**
Novembre	31,9	62,8	**94,7**
Décembre	2,5	4,4	**6,9**
Total	**406,9**	**268,6**	**675,5**

Tableau 1.2 : Tonnage mensuel de chlore injecté par électrochloration dans le circuit d'eau de refroidissement du CNPE de Penly au cours de l'année 2017

1.9 Travaux réalisés par l'IFREMER

La liste de l'ensemble de travaux réalisés pour la surveillance écologique et halieutique en 2017 est présentée dans le tableau 1.3. La position géographique des points de prélèvement est associée à chaque point de prélèvement.

Volet / Chapitre	Paramètre	NOMBRE D'ECHANTILLONS PAR CAMPAGNE Canal amenée 49°58'86N 1°12'22E	Rejet 49°59'12N 1°11'86E	Contrôle 49°59'97N 1°11'02E	Référence 49°58'05N 0°59'99E	Dates de mission
1. SURVEILLANCE ECOLOGIQUE **1.1. Domaine pélagique**	**Température, turbidité Salinité NH_4, NO_3, NO_2, PO_4, SiOH MES, O_2**	**1**	**1**	**1**	**1**	
1.1.1. Hydrologie	**Tribromométhane Dibromomonochloro-méthane Dichloromonobromo-méthane Trichlorométhane**	**1**	**1**	**1**	**1**	**23 / 3 14 / 6 27 / 9**
	Hydrazine, Ethanolamine	**1**	**1**	**1**	**1**	
1.1.2. Phytoplancton	**Chlorophylle et phaéopigments**	**1**	**1**	**1**	**1**	**23 / 3**
	Production primaire potentielle	**3**	**3**	**3**	**3**	**14 / 6**
	Détermination et comptage	**1**	**1**	**1**	**1**	**27 / 9**
1.1.3. Zooplancton	**Poids sec, carbone, azote Densité des organismes holo et méro planctoniques**	**1 WP2 filtré et congelé 1 WP2 formolé**	**1 WP2 filtré et congelé 1 WP2 formolé**	**1 WP2 filtré et congelé 1 WP2 formolé**	**1 WP2 filtré et congelé 1 WP2 formolé**	**23 / 3 14 / 6 27 / 9**
1.1.4. Microbiologie	**Dénomb, des germes totaux ***	**2**	**2**	**2**	**2**	**23 / 3**
	Dénomb, des germes revivifiables	**2**	**2**	**2**	**2**	**14 / 6**
	Ident, vibrions halophiles	**2**	**2**	**2**	**2**	**27 / 9**
2. SURVEILLANCE HALIEUTIQUE **2.1. Hydrologie et Ichtyoplancton**	**Température - Salinité oeufs et larves de sole, limande, sprat et sardine**	**2 Echantillons bongo**	**2 Echantillons bongo**	**2 Echantillons bongo**	**-**	**3 / 4 20 / 4 2 / 5 17 / 5**
2.2. Macrofaune Halieutique	**- sole, plie, limande - autres espèces (crevette grise, merlan, tacaud) -Température - Salinité**	**- 34 traits de 15 min, au chalut perche 3 m entre la baie d'Authie et Dieppe - 16 traits de 7 min, au chalut perche 2 m à l'intérieur de la baie de Somme**				**28 / 8 29 / 8**

*** un réplica sur les germes totaux a été réalisé sur l'ensemble des stations pour la campagne automnale**

Tableau 1.3 : Récapitulatif des travaux réalisés au cours de l'année 2017 pour la surveillance écologique du CNPE de Penly

LE DOMAINE PÉLAGIQUE

Préambule

Le suivi écologique annuel du domaine pélagique est réalisé en trois périodes saisonnières (fin d'hiver, fin de printemps, fin d'été). Elles correspondent, pour chaque domaine concerné (réserves trophiques, phytoplancton, zooplancton) à des périodes de dominances correspondant à des phases clés du développement biologique en milieu marin. La Figure 0-1 résume ces différentes interactions.

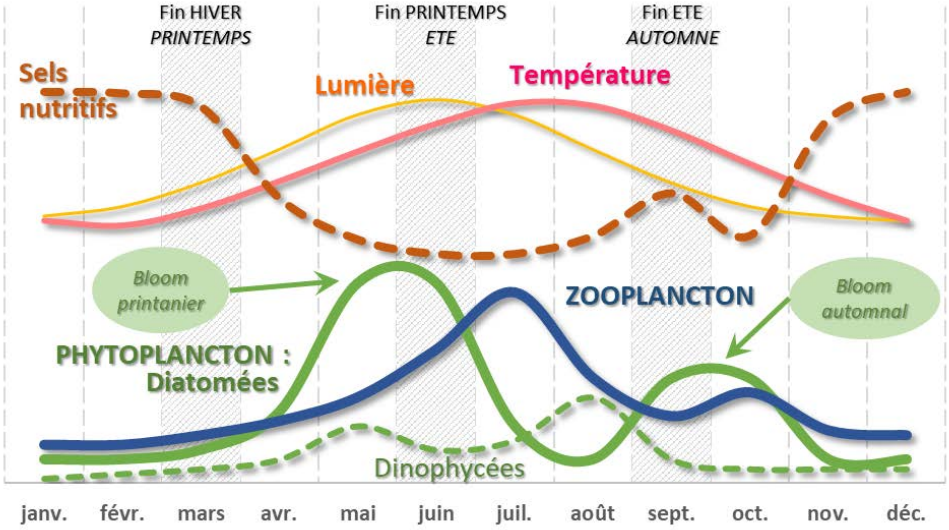


Figure 0-1 : Schéma synthétique de la dynamique saisonnière des différents domaines (température, sels nutritifs, Phytoplancton, zooplancton) associés au compartiment pélagique du milieu marin.

Durant ces trois périodes cibles la surveillance du compartiment pélagique s'articule selon 3 axes :

- **Physico-Chimie** : Les paramètres sont appréhendés soit directement par des mesures *in-situ* (température, salinité, oxygène dissous), directement sur place (turbidité), soit après retour au laboratoire par analyses sur des échantillons d'eau prélevés lors de la campagne en mer (ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, et MES).
- **Biologie** : les paramètres couvrent les domaines de la microbiologie (germes totaux et vibrions halophilles), du Phytoplancton (biomasse chlorophyllienne, flores totales, production primaire) et du Zooplancton (dénombrement faunistique, biomasse, production secondaire)
- **Substances Chimiques** : ils portent sur la recherche et la quantification de différentes molécules chimiques utilisées par le CNPE et susceptibles d'être rejetées dans le milieu récepteur (éthanolamine et hydrazine) et par des substances susceptibles d'être générées lors du traitement par chloration des circuits de refroidissement (et dérivés bromés)

Le programme de surveillance écologique du CNPE a été défini en collaboration avec les autorités dans un souci de pertinence et d'adéquation aux enjeux du milieu du CNPE.

PHYSICO CHIMIE, CHIMIE

Rédaction

Emilie Rabiller (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Prélèvements et mesures in situ

Sylvaine Françoise (LERN),
Frank Maheux (LERN),
Olivier Pierre-Duplessix (LERN),
Benjamin Simon (LERN),
Gaëlle Courtay (LERN),
Laure Lamort (LERN)

Analyses de sels nutritifs

Emilie Rabiller (LERN)

Analyses de matière en suspension

Emilie Rabiller (LERN),

Traitement statistique des résultats

Emilie Rabiller (LERN)

Analyses chimiques complémentaires

Laboratoire LABEO Franck Duncombe, Caen [14]
Laboratoire SGS, Rouen [76]

Avertissement :

Des modifications de forme ont été proposées dans cette partie du document par rapport à ce qui était présenté jusqu'à présent. Une attention particulière a été portée pour que tous les éléments de fond attendus soient préservés. Ces changements s'inscrivent dans une volonté partagée de faire évoluer les documents vers une amélioration et une harmonisation des rapports annuels de surveillance pour l'ensemble des CNPE de bord de mer. Ils ont été rendus possibles par une meilleure intégration de l'ensemble des processus de traitement et d'analyse des données depuis la bancarisation jusqu'à la production des figures présentées ici.

2 Hydrologie, Physico Chimie, Chimie

Les éléments présentés dans ce chapitre portent sur les paramètres mesurés dans le cadre des mesures (température, salinité et oxygène dissous), ex-situ (turbidité), des sels nutritifs (ammonium, nitrates et nitrites, phosphates, silicates), des matières en suspension (MES) et des substances chimiques :, les bromoformes et les Amines (morpholine, ethalonamine) ainsi que l'hydrazine.

2.1 Stratégie de surveillance

Le compartiment pélagique fait l'objet d'un suivi depuis les premières études de projet remontant en 1978. Après une pause de 6 années (1981-1986) la mise en œuvre de la surveillance écologique dans sa forme actuelle remonte à 1987 (2 ans avant la mise en service de la première tranche du CNPE). Les stratégies déployées n'ont depuis que peu évolué, que ce soit en termes de nombre de points de suivis (4) que de fréquence au cours de l'année (3 périodes).

Jusqu'en 2006, les campagnes de suivi en mer ont été mises en œuvre depuis le N/O THALIA[1] de l'Ifremer. À compter de l'année 2007, toutes les opérations nécessaires pour le suivi du compartiment pélagique ont été mises en œuvre depuis la station de Port en Bessin au moyen du N/O DELPHY[2], embarcation plus légère et polyvalente, mieux adaptée au contexte de la surveillance écologique.

Tableau 2-1 : Récapitulatif des paramètres suivis dans les domaines Hydrologie et Physico-Chimie dans le cadre du suivi du CNPE de PENLY (voir Figure A page 11 pour localisation des points)

Paramètres	Nb. Ech.	Stations	Fréquence
Température	1 Surf.	**4 stations :** *Canal* (station A), *Rejet* (station B), *Contrôle* (station C) *Référence* (station D)	3 camp./an - Printemps - Eté -Automne
Salinité			
Oxygène dissous			
Turbidité néphélométrique			
Ammonium			
Nitrates + nitrites			
Phosphates			
Silicates			
Matières en suspension			
Trihalométhanes (Bromoforme, Chloroforme, Dichloromonobromométhane, Dibromomonochlorométhane)			
Hydrazine, Ethalonamine			

2.2 Matériels et méthodes

[1] http://www.flotteoceanographique.fr/La-flotte/Navires/Navires-cotiers/Thalia
[2] http://wwz.ifremer.fr/lern/Nos-outils/Nos-moyens-d-interventions-nautiques

2.2.1 Mesures in situ et prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Penly, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes-eaux les 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017 à bord du navire océanographique NO DELPHY de l'IFREMER.
Les points échantillonnés (figure A p11) ont été les suivants :

le point C*anal* (situé à l'entrée du canal d'amenée du CNPE),
le point *Rejet* (situé dans les turbulences du rejet),
le point *Contrôle* (situé au large du rejet),
le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence du CNPE).

Tous les prélèvements ont été effectués en surface.

Les mesures de température, salinité et oxygène dissous sont directement effectuées in situ au moyen de sondes multi-paramètres YSI 6600EDS-M ou 600QS.

En dehors de la turbidité traitée à bord du N/O Delphy, tous les paramètres (physico-chimie et chimie) sont analysés en laboratoire à partir d'échantillons d'eau brute prélevés en mer au moyen d'une bouteille à prélèvement (type Niskin). Ils sont conservés au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au transfert au laboratoire d'analyse.

2.2.2 Méthodes et précisions

Les méthodes analytiques mises en œuvre pour le suivi des paramètres physico-chimiques et chimiques sont détaillées dans le Tableau 2-2

Tableau 2-2 : Références analytiques normalisées pour la physico-chimie et la chimie.
(N° [XXX] : Référence code SANDRE (http://www.sandre.eaufrance.fr/Rechercher-une-donnee-d-un-jeu)

Paramètre [CODE PARAMETRE]	Méthode d'analyse [Code SANDRE]	LD / LQ (1)	Précision (1)
Température [TEMP]	mesure *in situ* [500]	0,01 (résolution constructeur)	± 0,01 °C
Salinité [SALI]	mesure *in situ* [512]	0,01 (résolution constructeur)	± 0,01
Oxygène dissous [OXY]	mesure *in situ* (luminescence) [752]	-	± 0,1 mg/l
Turbidité [NTU]	mesure *ex situ* (diffusion lumière blanche à 90°) [776]	0,01 (résolution constructeur)	± 2 % NTU
Matières en Suspension [MES]	Méthode par gravimétrie après filtration (Aminot et Kérouel 2004) [519]	LD : 0,01	± 0,1 mg/l
Nitrate + nitrite (2) [NO_3+NO_2]	Spectrophotométrie flux 2007 Aminot et Kérouel 2007 [754]	LQ : 0,05 µmol/L	6,1 % (3)
Ammonium (2) [NH_4]	Spectrophotométrie flux Aminot et Kérouel 2007 [764]	LQ : 0,1 µmol/L	15,4 % (3)

Paramètre [CODE PARAMETRE]	Méthode d'analyse [Code SANDRE]	LD / LQ (1)	Précision (1)
Phosphate (2) [PO_4]	Spectrophotométrie flux Aminot et Kérouel 2007 [762]	LQ : 0,04 µmol/L	6,1 % (3)
Silicate (2) [SIOH]	Spectrophotométrie flux Aminot et Kérouel 2007 [763]	LQ : 0,2 µmol/L	0,7 % (3)
Ethanolamine (4)	Chromatographie ionique (*méthode interne SGS 76*)	LQ variable selon nature échantillon : 2 à 20 mg/L	N.C.
Hydrazine (4)	LC/MS/MS (*méthode interne SGS 76*)	LQ : 20 µg/L	N.C.
Trihalométhane (5)	PRHYAN078 (*méthode interne LABEO 14*)	LQ : 1 à 0,5 µg/L	N.C.

(1) *Avis relatif aux limites de quantification des couples « paramètre-matrice » de l'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques du 21 janvier 2012 / NOR : DEVL1131786V*

(2) *Le dosage des nutriments dans les eaux salines et saumâtres fait partie de la portée d'accréditation du Laboratoire IFREMER Environnement Ressource de Normandie depuis le 15 juin 2011 (section Essais, accréditation n° 1-2048, portée disponible sur le site www.cofrac.fr)*

(3) *Arrêté du 27 octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et les milieux aquatiques au titre du code de l'environnement / NOR : DEVL1128052A*

(4) *Les dosages de l'éthanolamine et de l'hydrazine sont réalisés par le laboratoire SGS de Rouen (76), accrédité Cofrac (Numéro d'accréditation Cofrac n°1-0281. Portée disponible sur www.cofrac.fr)*

(5) *Le dosage des trihalométhanes est réalisé par le laboratoire LABÉO Manche, accrédité Cofrac (Numéro d'accréditation Cofrac n°1-6185. Portée disponible sur www.cofrac.fr)*

2.2.3 Traitement et exploitation des données

Les traitements et exploitation des données acquises s'articulent autour de 2 principes :

- Une représentation graphique : La mise en perspective de la variabilité spatiale (entre les points) et saisonnière (entre les campagnes) des résultats observés au cours de l'année, avec la variabilité interannuelle observée historiquement depuis que le paramètre est suivi dans le cadre de la surveillance (susceptible de remonter au début des années 1980)[3].

  Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le BoxPlot, dont le principe est rappelé dans la Figure 2-1.

  Les années pour lesquelles des valeurs records ont été observées sont identifiées directement sur le graphique, sauf pour les années où les valeurs minimum observées correspondent à des seuils (LD ou LQ) de nature analytique.

[3] La stratégie analytique d'un même paramètre peut avoir changé au cours de la surveillance au point d'empêcher la continuité historique de la série.

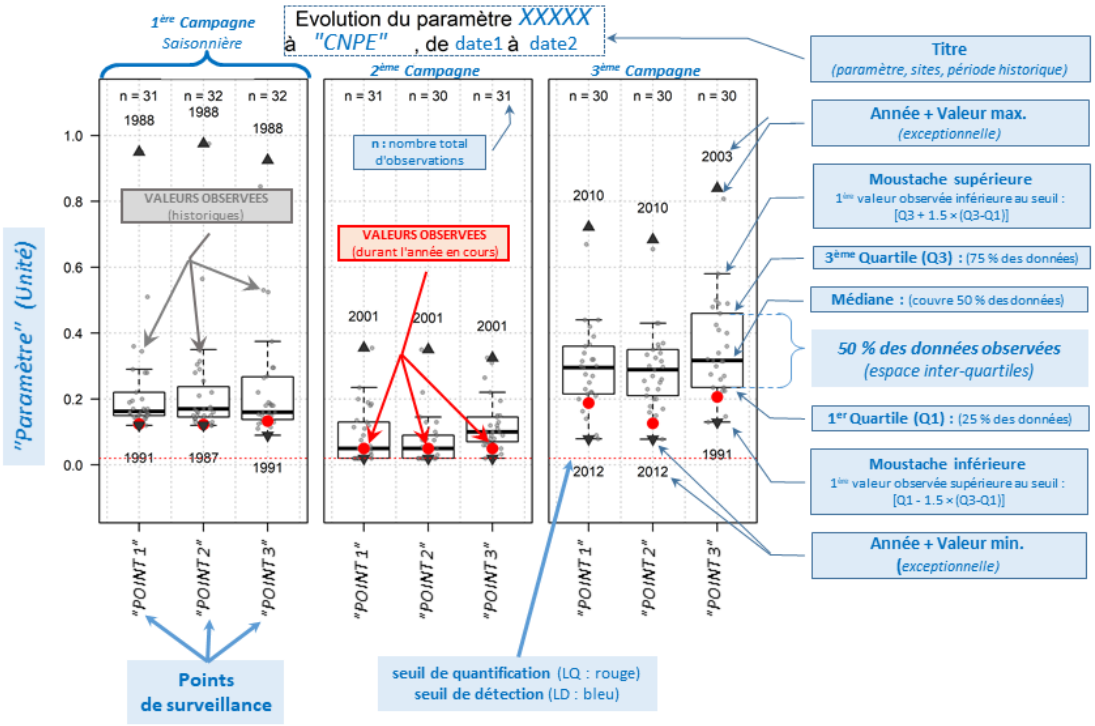


Figure 2-1 : Description des graphiques de type "Boxplot" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historique de la surveillance

- Une approche statistique : les résultats observés durant l'année en cours sont intégrés dans la série historique avec l'objectif d'évaluer si des différences significatives entre les points se dégagent (en particulier entre les points d'entrée (*Canal*) et de sortie (*Rejet*) du CNPE). Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été proposés au début des années 2000. Ils sont remis à jour chaque année.

  Pour chaque paramètre concerné, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'analyse de la distribution de la différence entre les valeurs prises en considération pour le test (point A vs point B). L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilks. Lorsque la distribution est normale, le test T de Student pour données appariées est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

  L'interprétation de ces tests est faite au seuil de risque de 5%. Si la valeur de "*p-value*" obtenue est inférieure à 0,05, le risque de faire une erreur en concluant que la différence est "significative" est limité (< 5%). Si par contre la valeur de "p-value" reste supérieure à la valeur de 0,05, alors les différences observées ne sont pas considérées comme significatives.

  N.B. : Un important travail de reprise de bancarisation a été initié en 2017. Il a permis de compléter de manière significative les séries historiques existantes.

2.3 Résultats

Le détail des résultats par paramètre et par point est consultable en annexe page 67.

2.3.1 Température de l'eau de mer

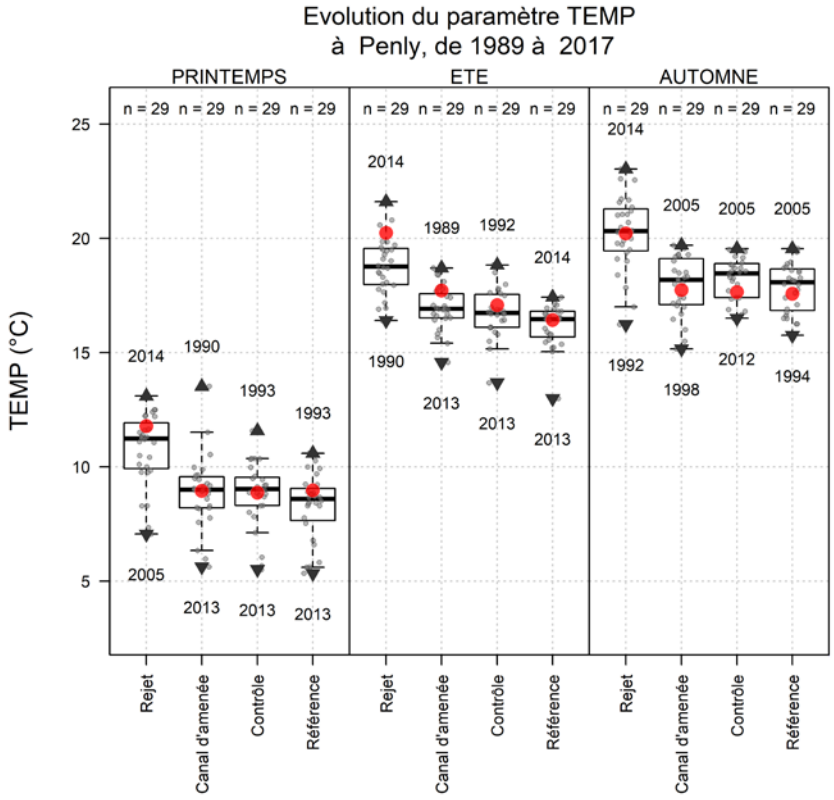
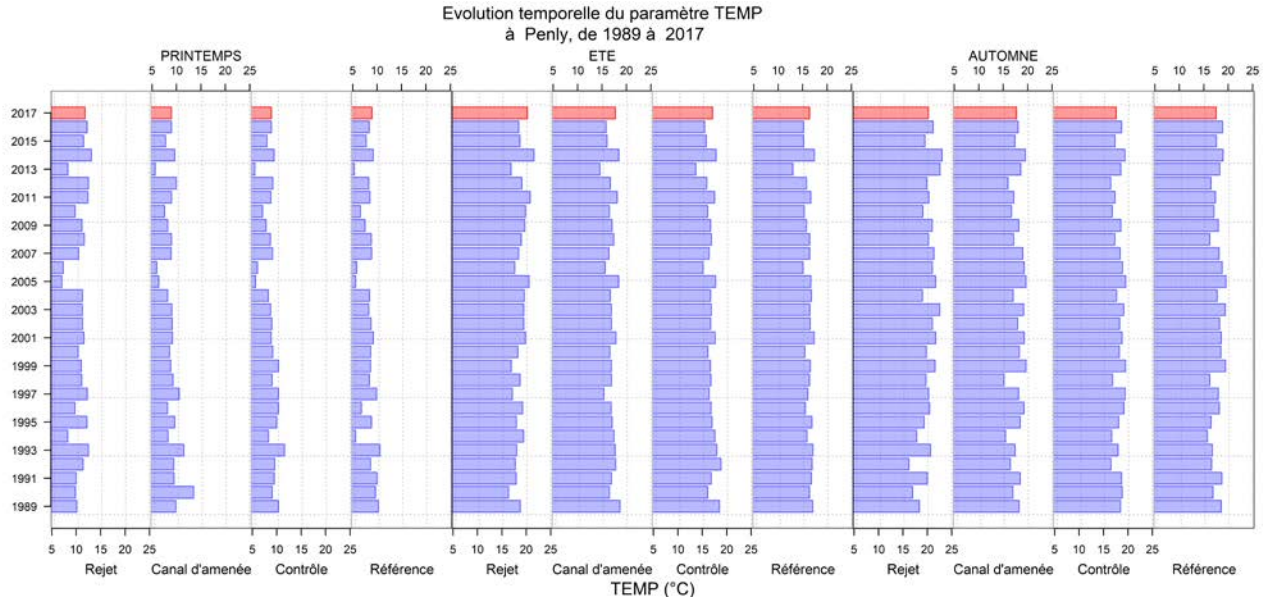


Figure 2-2 : Mesures de température de l'eau réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet* et *Canal* au cours de l'année, mises en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (détail des Boxplots voir Figure 2-1). (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)



Au cours des campagnes de surveillance 2017, la température de l'eau de mer a varié de 8,95°C à 17,8°C à la station canal, de 11,8°C à 20,2°C à la station *rejet*, de 8,87°C à 17,7°C à la station *contrôle* et de 8,97 à 17,6°C à la station *référence* (figure 2.3).

Les boxplots nous permettent de réaliser la comparaison interannuelle depuis le début du suivi. L'année 2017 présente des températures proches des médianes, légèrement supérieures à celles-ci au printemps et en été et légèrement inférieures en automne. La figure 1.18 du §1 *Généralités* de ce rapport indique une corrélation significative entre la température de l'air et celle de l'eau de mer mesurée à la sortie du condenseur. Cependant les moyennes mensuelles de température de l'air de mars, juin et octobre atteignent le maximum interannuel (figure 1.14) et cela n'apparait pas que partiellement sur les mesures de la campagne de juin. Les températures des stations rejet et canal du 16 juin appartiennent à 25% des valeurs les plus fortes mesurées depuis le début du suivi.

Du point de vue spatial, les températures de l'eau observées sur tous les points ne présentent pas de caractère particulier au cours de l'année. Les profils saisonniers de température sont conformes à ce qui est habituellement observé.

La Figure 2-3 montre que le CNPE est situé dans un secteur où le brassage naturel des eaux limite les phénomènes de stratification de la colonne d'eau. Les réchauffements de surface sont donc limités, ce qui explique la faible variabilité interannuelle de la température de l'eau sur ce site.

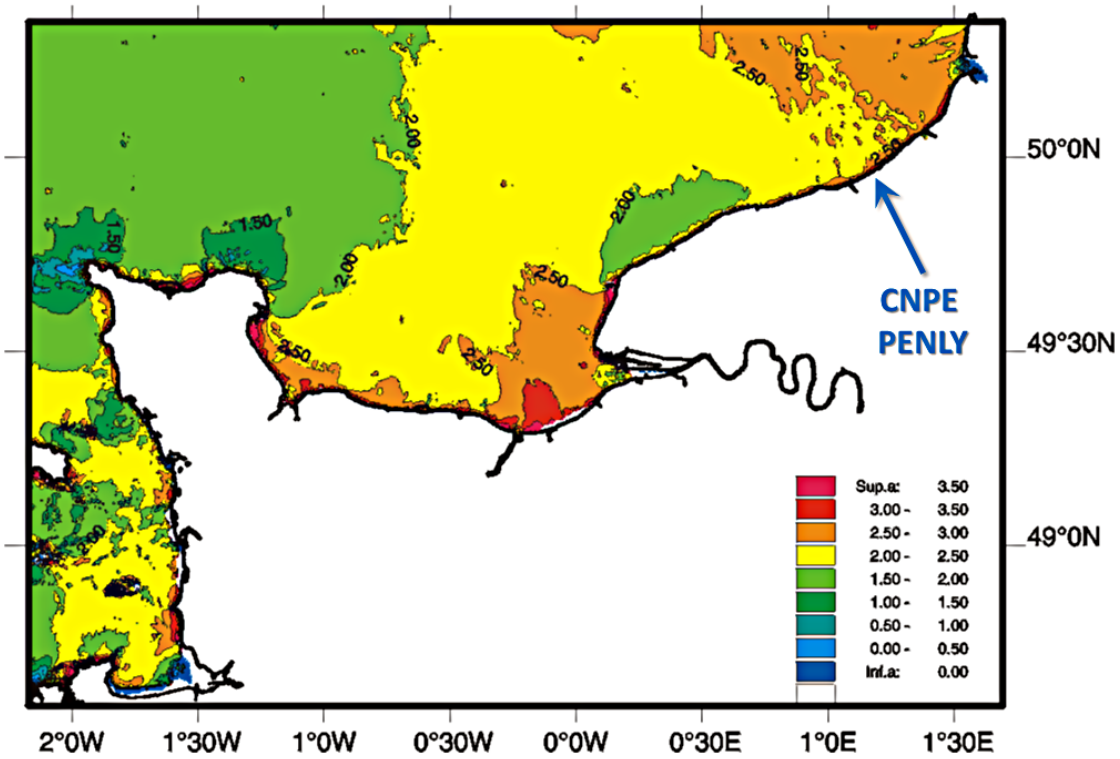


Figure 2-3 : Évolution spatiale du paramètre de stratification "H/u³" (Simpson et Hunter, 1974), en Manche réalisée à l'aide d'un modèle hydrodynamique 2D (IFREMER DEL/AO-LERN).
Les faibles valeurs (< 2,0) traduisent un brassage important de la colonne d'eau limitant les possibilités de stratification. Au contraire, les valeurs fortes (> 3,0) traduisent des zones propices, en été, à voir apparaître une stratification de la colonne d'eau

Tableau 2-3 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la température sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence nonsignificative).

Période prise en compte : 1989 - 2017	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Contrôle/Canal(	W	0,39	W	< **0,01**	W	**0,05**
Contrôle/Référence	W	< **0,01**	S	< **0,01**	W	**0,01**
Contrôle/Rejet	T	< **0,01**	W	< **0,01**	W	< **0,01**
Canal//Référence	W	< **0,01**	S	< **0,01**	T	0,37
Canal/Rejet	W	< **0,01**	W	< **0,01**	T	< **0,01**
Référence/Rejet	W	< **0,01**	S	< **0,01**	T	< **0,01**

La comparaison des moyennes de température de l'eau montre des différences significatives systématiques entre le point *Rejet* et les autres points de suivi, quelle que soit la saison. Au printemps et en automne, ces différences s'estompent entre le point *Canal* (Côte) et les points du large (*Contrôle* et *Référence*).

2.3.1.1 Écarts thermiques entre l'eau du *Rejet* et les autres points de prélèvement et taux de dilution

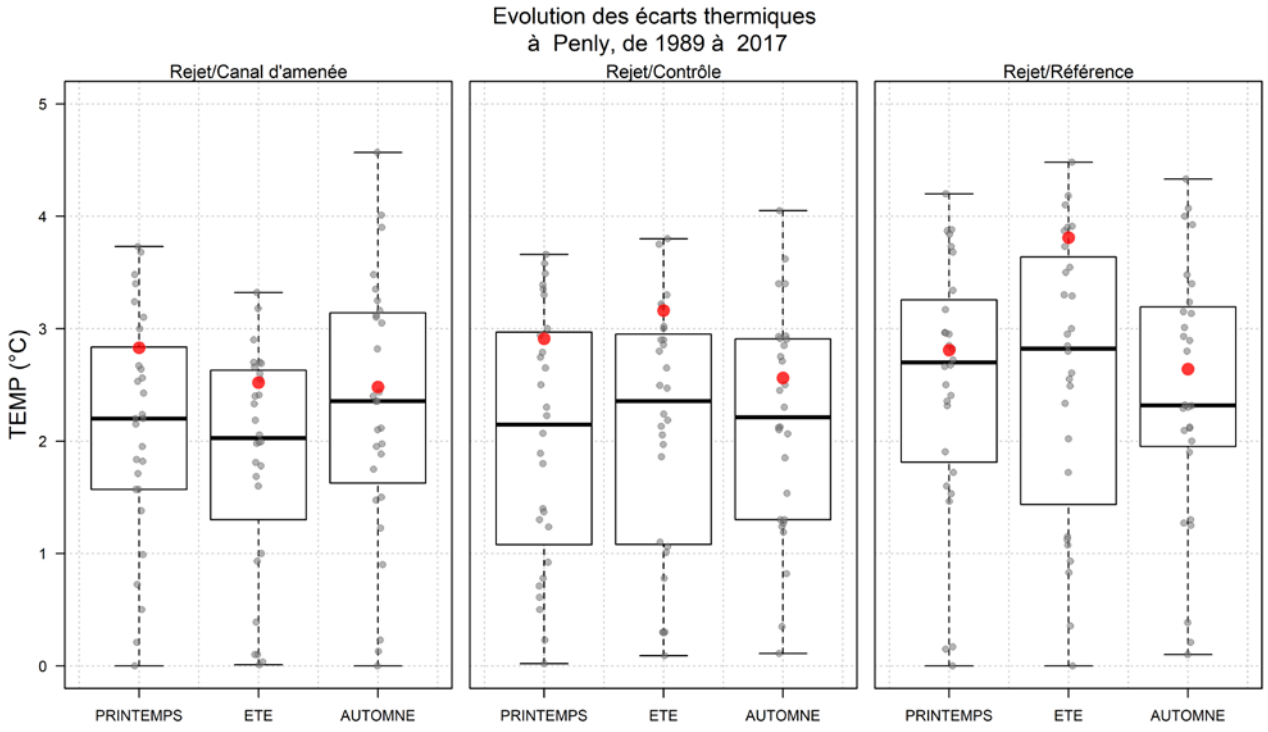


Figure 2-4 : Distributions des écarts thermiques entre les stations, *Rejet* / *Canal* et *Rejet* / *Référence* depuis 1987. Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017.

Sur l'ensemble des campagnes de 2017, les écarts de températures de l'eau enregistrés entre la station *Rejet* et les autres stations *Canal*, *Contrôle* et *Référence* sont relativement homogènes (de 2,5 à 3°C). La station *Rejet* se distingue donc systématiquement des trois autres stations, présentant des températures d'eau toujours plus fortes, confirmant ainsi un impact spatial limité autour du *Rejet*.

L'écart le plus important (4°C) est observé au cours de l'été avec le point *Référence* distant de plus de 7,5 milles.

La température mesurée au point *Rejet* dépend en grande partie de la proportion de mélange des eaux issues du *Rejet* avec les eaux côtières. Cette proportion peut être estimée d'après la formule suivante :

$$\pi = \frac{t°_{Rejet} - t°_{Pompage\,(Canal)}}{t°_{SC} - t°_{Pompage\,(Canal)}} \qquad (1)$$

π Représente la proportion d'eau échauffée potentielle. $t°_{Rejet}$, $t°_{Canal}$ et $t°_{SC}$ représentent respectivement les températures au point *Rejet* (en surface, à la verticale des bouches de Rejet en mer), au point C*anal* (également en surface) et à la sortie du condenseur (mesures EDF). Le dénominateur de l'équation (1) correspond à l'échauffement maximal des eaux pompées. Par arrêté, cet échauffement ne doit pas excéder 15 °C (Malherbe et Manoha, 1977)[4]. Les proportions d'eau échauffée et les taux de dilution théoriques qui en découlent sont présentés dans le Tableau 2-4.

Tableau 2-4 : Echauffements de l'eau de mer calculés à Penly en 2017 et taux de dilution (en gras les valeurs utilisées pour le calcul)

2017	*Canal*		Sortie Condenseur EDF		*Rejet*		CALCUL		
	T°C IFREMER	T°C EDF	T°C T1 (Ouest)	T°C T2 (Est)	T°C IFREMER	T°C *Rejet-Canal*	SC-*Canal*	Ratio	Taux
23-mars	**8,95**	9,15	**21,29**	21,45	**11,78**	2,8	12,34	0,23	**77,1**
14-juin	**17,71**	17,93	30,08	**28,83**	**20,23**	2,5	11,12	0,23	**77,3**
27-sept	**17,73**	17,7	17,7	**29,43**	**20,21**	2,5	11,7	0,21	**78,8**

Les taux de dilution calculés au printemps et en octobre sont compris entre 75 et 80%, démontrant un pouvoir de dilution important du milieu. L'exigence sur l'échauffement thermique est bien respectée.

[4] MALHERBE, J.F. & MANOHA, B. 1977.- « Centrale de Flamanville-Avis C ; Influence courantologique et thermique ». Electricité De France, Direction des études et recherches, HE041/77.013

2.3.2 Salinité

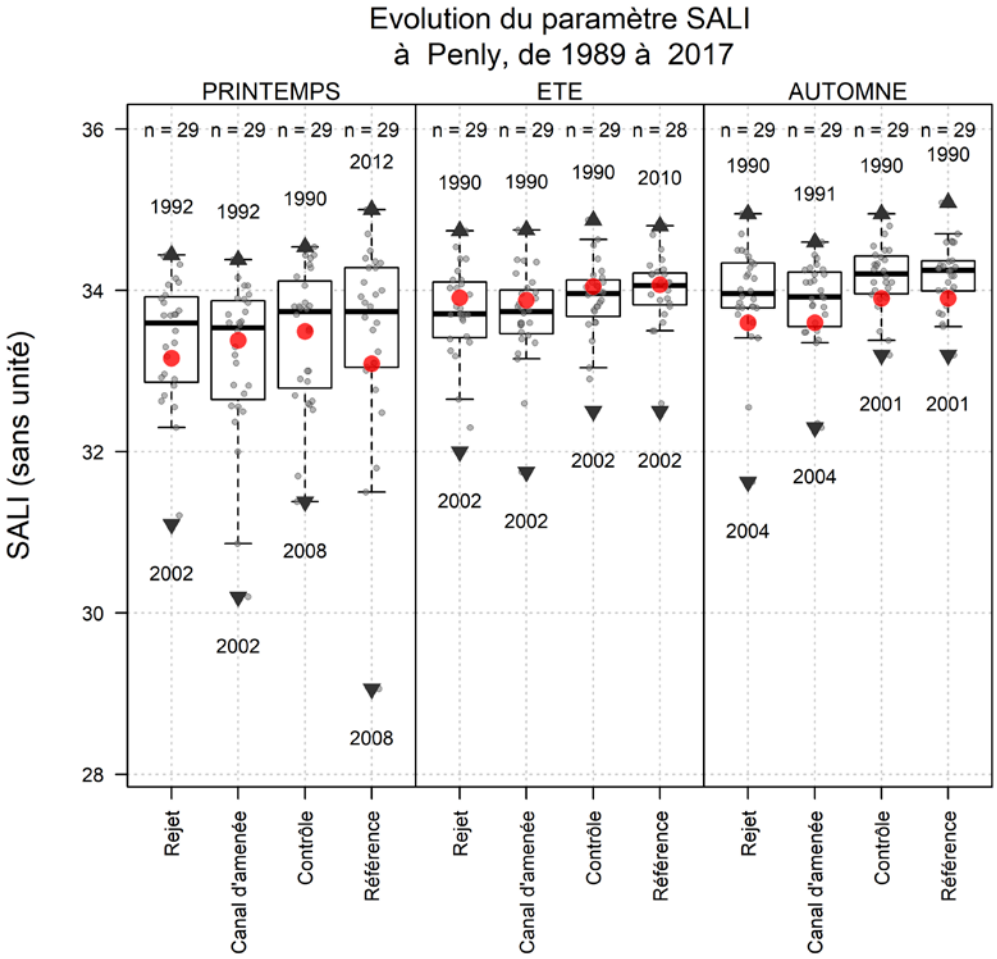
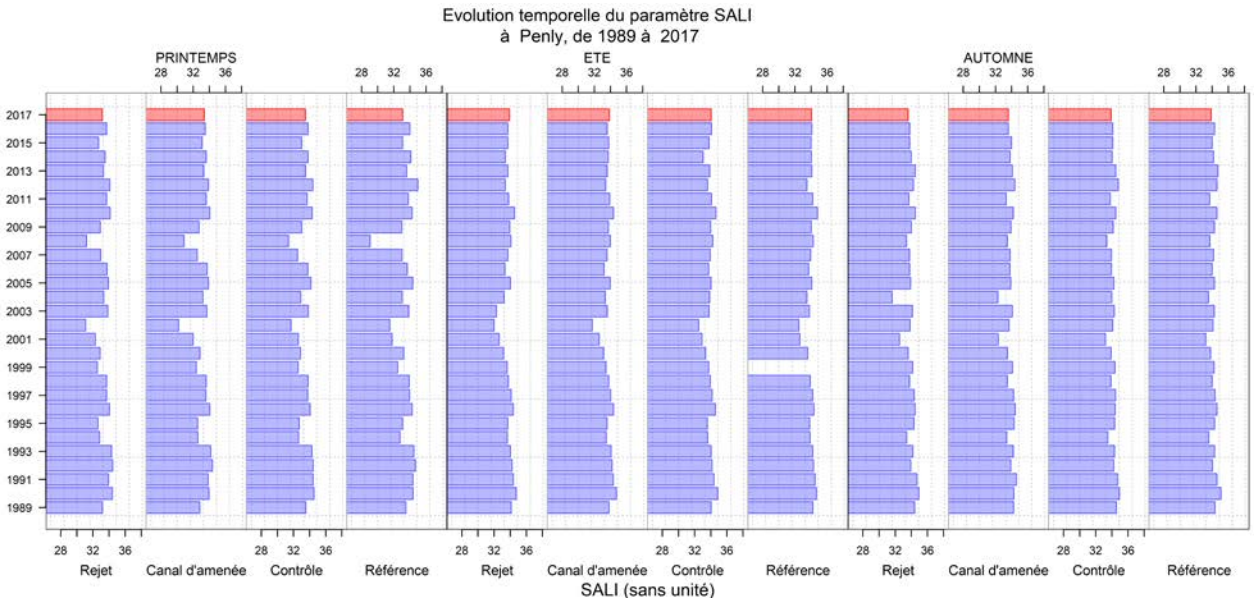


Figure 2-5 : Mesures de Salinité (SALI) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (détail des boxplots voir Figure 2-1). (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)



Les salinités mesurées en 2017 ont été comprises entre 33,4 et 33,9 à la station *Canal*, entre 33,2 et 33,9 à la station *Rejet*, entre 33,5 et 34,1 à la station *Contrôle* et entre 33,1 et 34,1 à la station *Référence.*
Les boxplots montrent que la salinité à la station *Référence* au printemps est en limite inférieure de la boîte et donc est éloignée de la médiane. Les salinités relevées à l'automne 2017 appartiennent aux valeurs les plus faibles mesurées depuis le début du suivi étant hors de la boîte des boxplots.

Sur le plan spatial, le point *Référence* au printemps se distingue des autres par une salinité sensiblement plus faible. Situé à plus de 7 milles marins à l'ouest des autres points de tels écarts n'ont rien de surprenant. Tous points confondus, les salinités relevées à l'automne 2017 appartiennent aux valeurs les plus faibles mesurées depuis le début du suivi. L'année 2017 ne révèle pas de gradient spatial pour ce paramètre.

L'influence de la pluviométrie sur la salinité dans ce secteur est importante. Elle est exacerbée par des caractéristiques hydrodynamiques locales particulières. Dans ce secteur de la Manche, les courants de marée sont parallèles à la côte et constituent une entrave au mélange des eaux d'origine continentale avec les eaux océaniques. Il se crée une masse d'eau côtière permanente appelée *fleuve côtier*. La dessalure du *fleuve côtier* est continuellement entretenue par les apports fluviaux qui s'échelonnent de la baie de Seine au Pas de Calais (Brylinski *et al.*, 1991)[5].

La Figure 2-6, ci-dessous, présente l'évolution de la salinité en fonction du débit de la Bresle et de la Béthune, fleuves situés proche du CNPE de Penly.

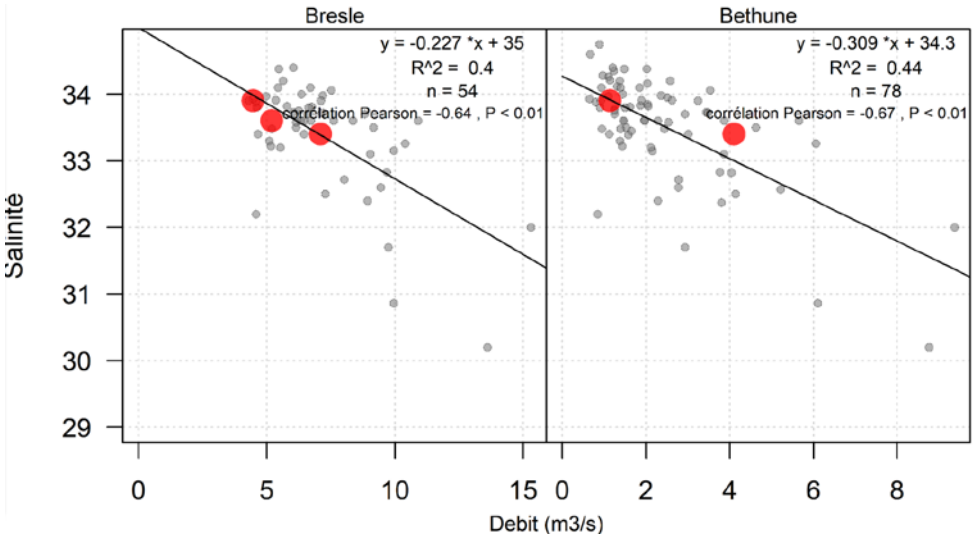


Figure 2-6 : Variation de la salinité (*point Canal*) en fonction du débit journalier de la Bresle (2000-2017) et de la Béthune (1989-1994 / 1998-2017). En rouge les valeurs de salinités et débits de 2017.

Une corrélation linéaire sensible (coefficient de corrélation autour de 0,70) lie la salinité mesurée au niveau du CNPE et le débit des deux fleuves à proximité. Les rapports "débits/salinités" de la Bresle et de la Béthune lors des campagnes 2017 se projettent de manière cohérente sur les courbes de tendance respectives.

[5] Brylinski, J.M., Lagadeuc, Y., Gentilhomme, V., Dupont, J.-P., Lafitte, R., Dupeuble, P.-A., Huault, M.-F., Auger, Y., Puskaric, E., Wartel,M. & Cabioch, L. 1991 - Le fleuve côtier, un phénomène hydrologique important en Manche Orientale. Exemple du Pas-de-Calais ». *Oceanologica Acta,* 11, 197-203.

Tableau 2-5 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la salinité sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

Période prise en compte : 1989 - 2017	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Contrôle/Canal(*)	W	< **0,01**	W	< **0,01**	W	< **0,01**
Contrôle/Référence	W	**0,09**	W	0,11	T	0,87
Contrôle/Rejet	T	**0,01**	W	< **0,01**	W	< **0,01**
Canal(*)/Référence	W	< **0,01**	T	< **0,01**	W	< **0,01**
Canal(*)/Rejet	W	< **0,01**	W	**0,03**	W	**0,01**
Référence/Rejet	W	**0,01**	W	< **0,01**	W	< **0,01**

(*) en adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

L'intégration des mesures réalisées en 2017 ne modifie pas les résultats basés sur la période 1989-2016. Seul le couple de stations *Contrôle*/*Référence* ne montre pas de différence significative au printemps et en automne. La faible influence des apports continentaux d'eau douce sur les stations *Contrôle* et *Référence*, toutes deux situées au large, peut expliquer cette apparente similarité. D'une manière générale, les différences présentes entre les stations du large et de la côte peuvent être représentatives d'un gradient de salinité.

La centrale peut, elle-même, être amenée à rejeter de l'eau douce. Cependant, ces rejets ne représentent qu'un faible volume (par an et par tranche), par rapport aux volumes d'eau de mer utilisés pour le refroidissement. La probabilité d'une influence du CNPE sur les variations de salinités mesurées sur la série pluriannuelle apparaît comme très limitée.

2.3.3 Oxygène

Le paramètre oxygène dissous n'est suivi que depuis 2016. De nombreux facteurs sont susceptibles d'influer la teneur en oxygène dissous du milieu, qu'ils soient de nature physique (température, salinité, hydrodynamisme), chimique (oxydation) ou biologiques (phénomènes de respiration et de photosynthèse). Ce paramètre contribue à l'évaluation de la qualité des masses d'eau littorales dans le cadre de la DCE.

Les variations spatiales de l'oxygène dissous sont peu marquées entre les stations de surveillance (Figure 2-7). Le profil saisonnier est conforme à ce qui peut être attendu (valeurs les plus élevées en début de cycle précédent le développement des organismes hétérotrophes consommateurs d'oxygène dissous) et reste proche de la valeur de référence[6] pour la DCE qui se situe à 8,33 mg/L d'oxygène dissous en Manche Atlantique . (source : site www.envlit.ifremer.fr)

Le nombre de mesures d'oxygène dissous observées depuis 2016 (N=2) n'est pas encore suffisamment important pour permettre de réaliser une analyse de comparaison de moyenne comme cela est proposé pour les autres paramètres.

[6] *https://envlit.ifremer.fr/documents/autres_documents/fiches_descriptives/element_de_qualite_oxygene_dissous*

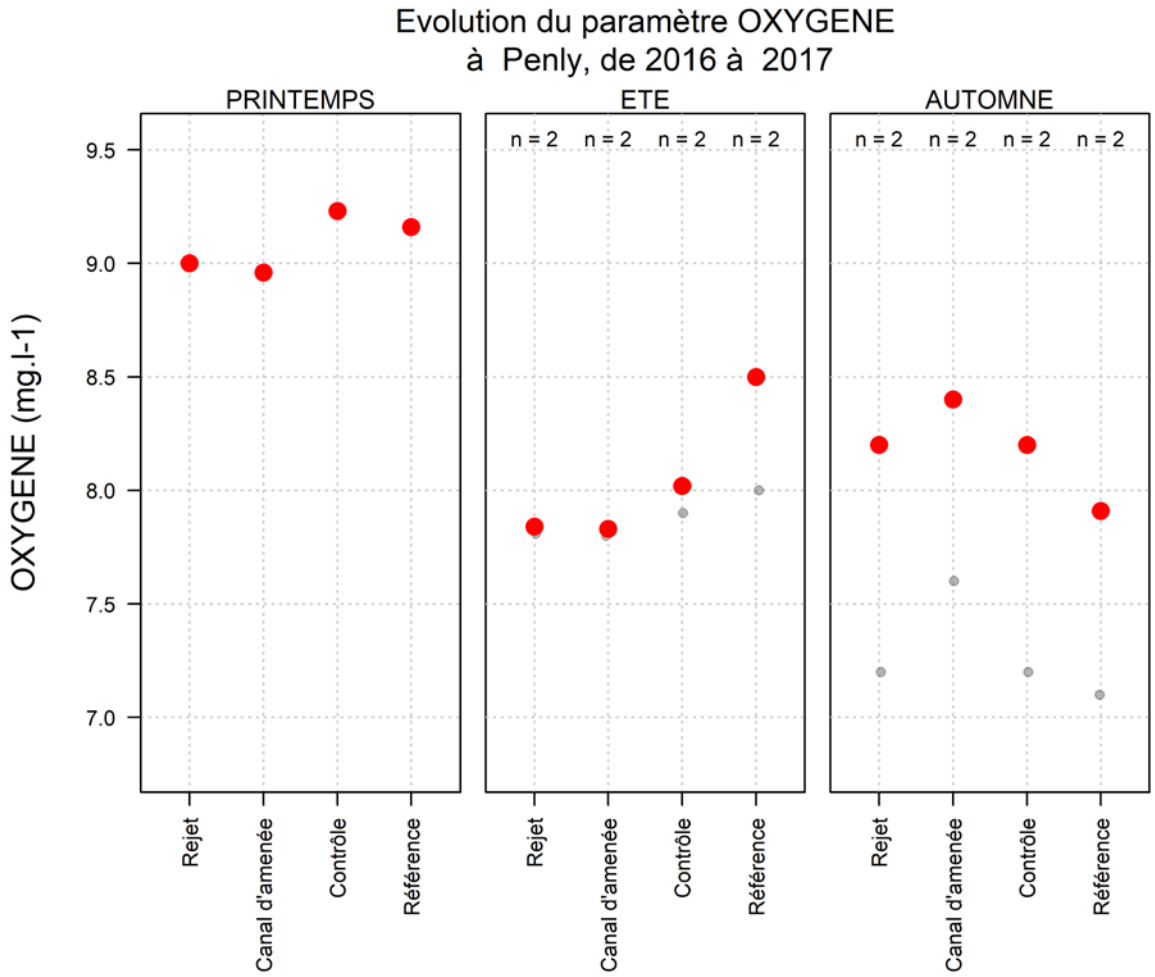


Figure 2-7 : Mesures de l'oxygène Dissous (OXY) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)

2.3.4 Ammonium

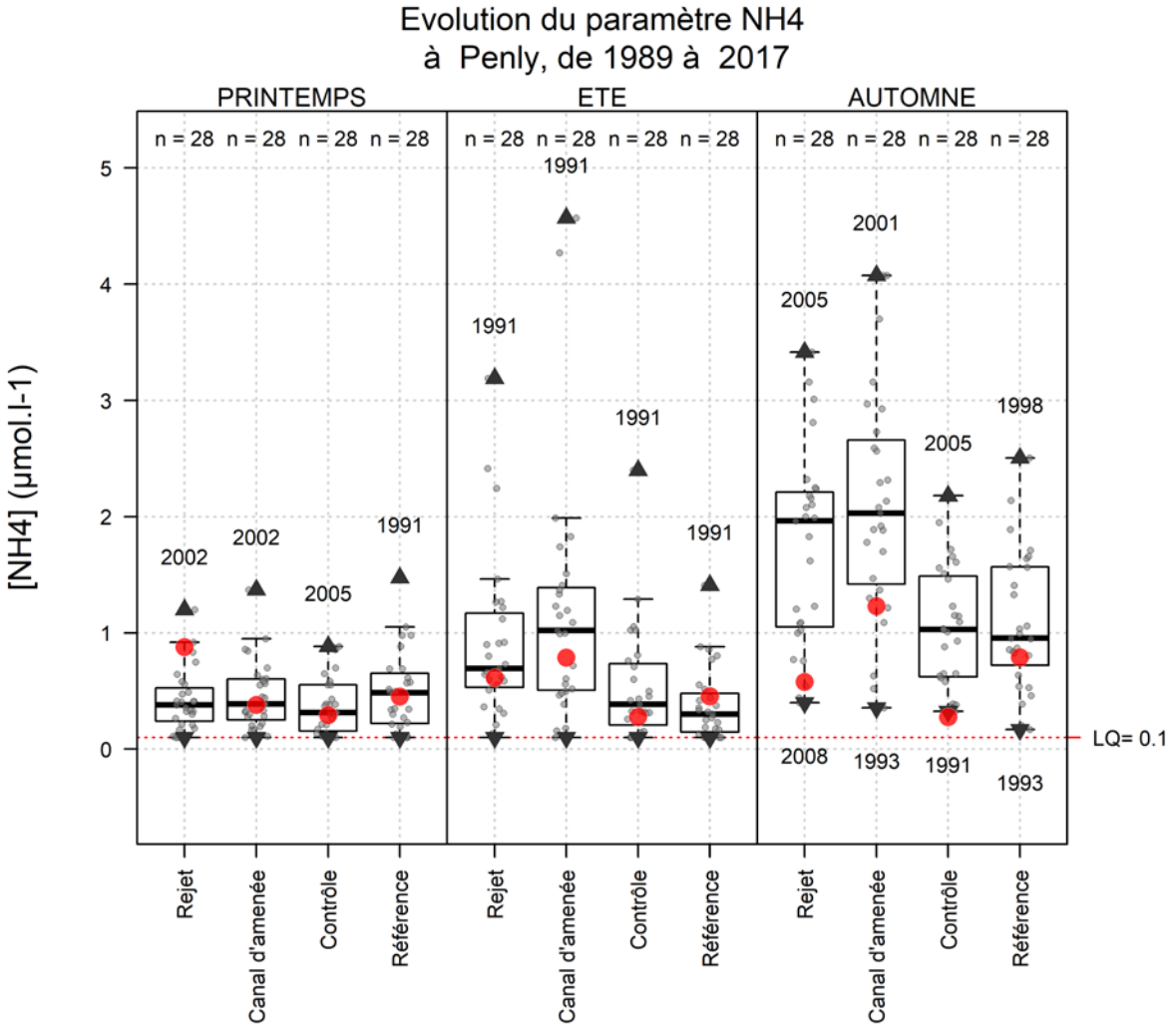
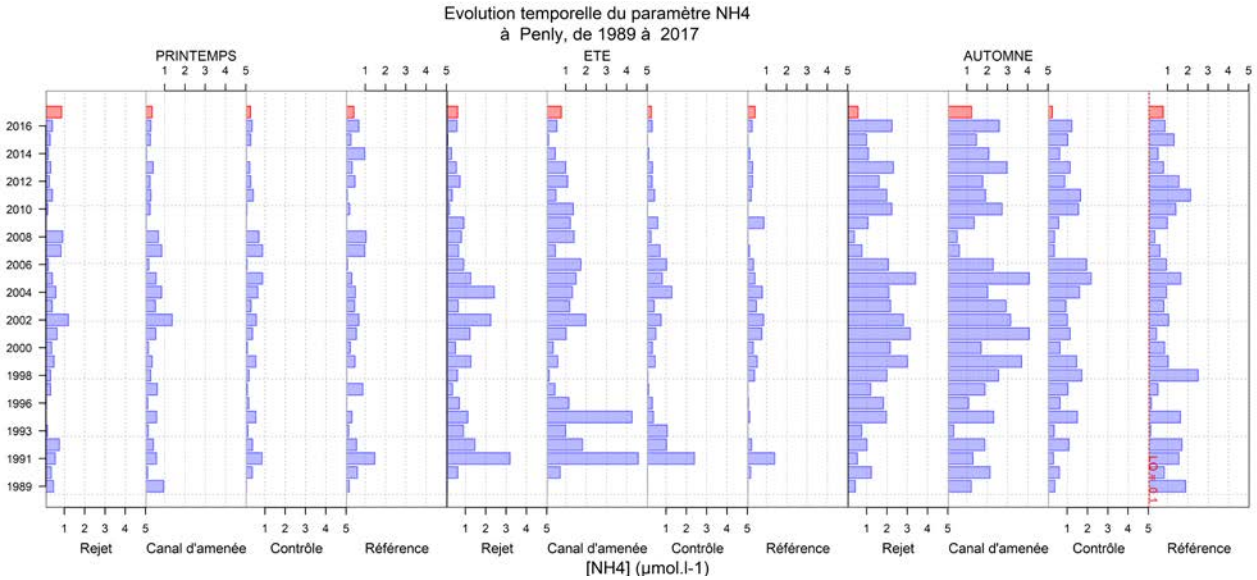


Figure 2-8 : Mesures d'ammonium(NH4) réalisées aux 4 points *Référence,Contrôle, Rejet* et *Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (détail des boxplots voir Figure 2-1).
(dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)



Hormis sur le point *Rejet* au printemps (valeurs parmi les plus élevées de l'historique), les valeurs

observées sont proches de la médiane. La variabilité spatiale est limitée et ne met pas en évidence de gradient entre la côte et le large. Globalement les valeurs observées sont d'un niveau faible en été et en automne.

Tableau 2-6 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour l'ammonium sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non-significative).

Période prise en compte : 1989 - 2017	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Contrôle/Canal(*)	W	0,12	W	< **0,01**	*T*	< **0,01**
Contrôle/Référence	*T*	**0,06**	W	0,17	*T*	0,53
Contrôle/Rejet	*T*	0,21	*T*	< **0,01**	W	< **0,01**
Canal(*)/Référence	*T*	0,72	W	< **0,01**	*T*	< **0,01**
Canal(*)/Rejet	*T*	0,54	W	**0,04**	*T*	< **0,01**
Référence/Rejet	*T*	0,42	W	< **0,01**	*T*	< **0,01**

(*) en adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

Le printemps se caractérise par une relative homogénéité entre la côte et le large puisque la seule différence significative concerne les points *Contrôle* et *Référence*, tous les deux situés au large et distants de plus de 13 km. Le reste de l'année, été et automne, les valeurs d'ammonium sont significativement différentes sur tous les points à l'exception des 2 points du large (*Référence* et *Contrôle*). Ces différences caractérisent une hétérogénéité du milieu et un gradient côte large couramment observé dans les eaux côtières de la Manche.

2.3.5 Nitrite et Nitrate

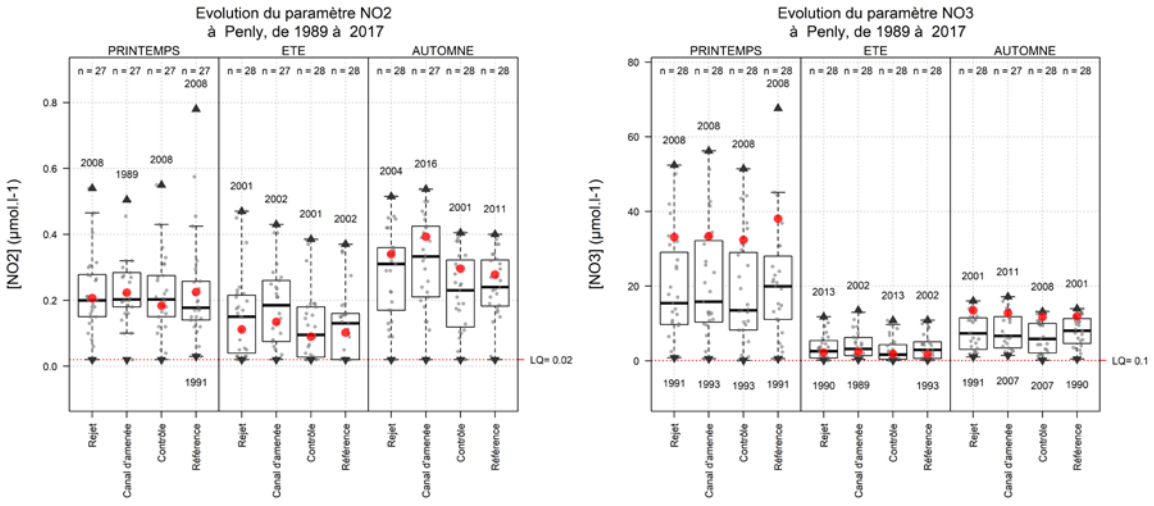
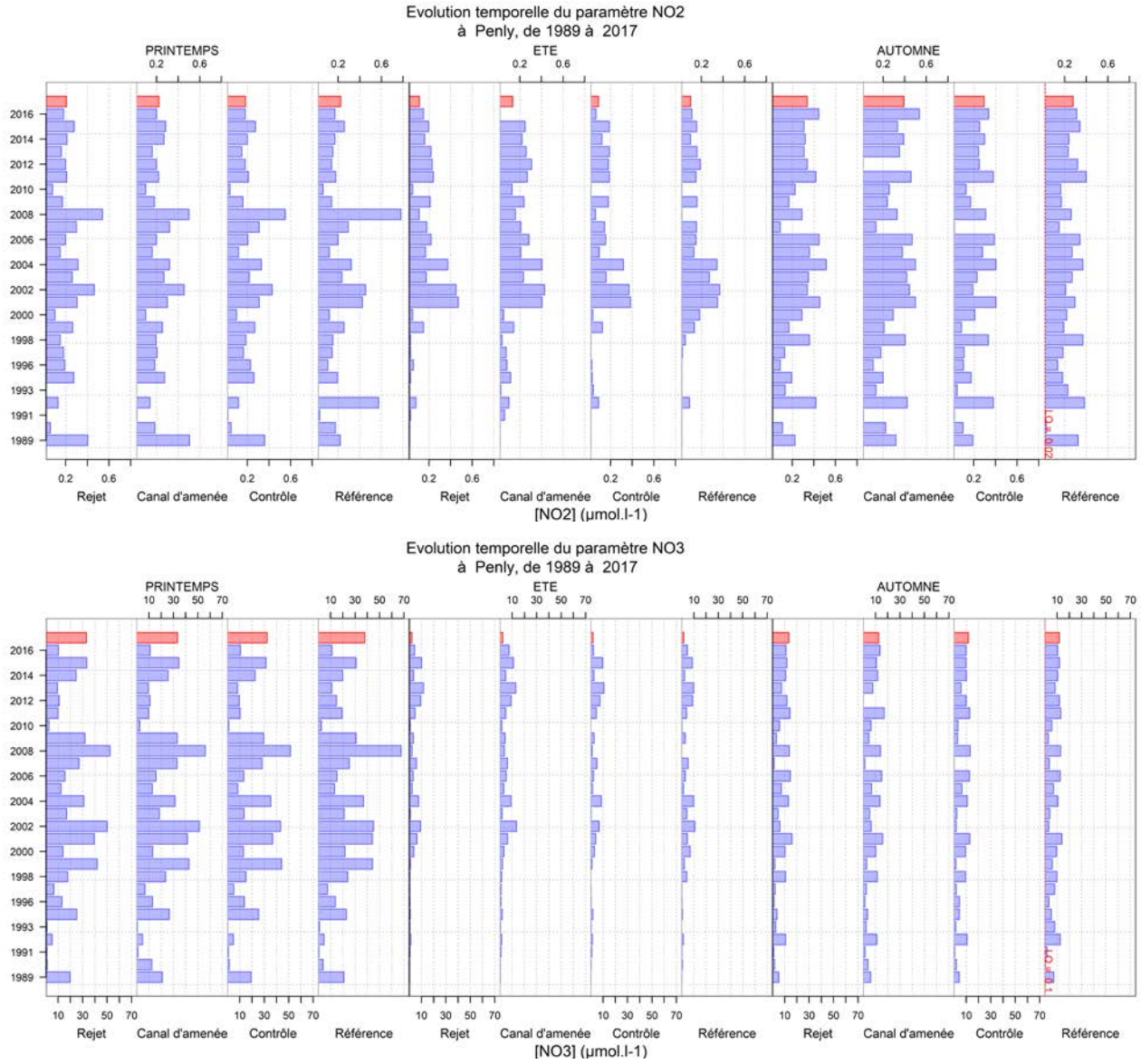


Figure 2-9 : Mesures de nitrites (NO2) et nitrate (NO3) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début

**de la surveillance écologique du CNPE. (détail des boxplots voir Figure 2-1).
(dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)**



Les valeurs de nitrate mesurées au printemps sont les plus fortes, toutes stations confondues. Les concentrations estivales sont proches de la limite de quantification alors que celles de l'automne remontent sensiblement illustrant la reconstitution des stocks.

Les concentrations en nitrite sont plus élevées le 25 septembre que le 04 avril et inversement pour le nitrate. Ce constat est à mettre en parallèle avec la donnée de biomasse qui est plus forte le 25 septembre (cf. chapitre phytoplancton) et le taux d'oxygène qui lui est lui moindre à cette même date. A l'automne, la combinaison de ces trois éléments sont favorables au processus issu du cycle de l'azote, comprenant la dénitrification et la dégradation de l'ammonium/ammoniac en nitrite. Ce qui peut potentiellement expliquer les faibles valeurs d'ammonium en automne en comparaison aux médianes interannuelles (figure 2-8).

Au printemps le nitrate est plus concentré dans l'eau qu'à l'automne, la biomasse ne l'ayant pas consommé. Le bloom phytoplanctonique printanier a en effet eu lieu suite à la campagne comme le prouve les images satellites (chapitre phytoplancton figure 3-4)

Ces processus issus du cycle de l'azote semblent donc plus actifs lors de la campagne d'automne que celle de printemps.

Cette tendance se retrouve dans les médianes interannuelles du nitrate et du nitrite avec un écart minime entre les données de printemps et celle de l'automne.

En 2017, les concentrations en nitrite sont plus élevées à l'automne qu'au printemps. La biomasse automnale étant plus forte qu'au printemps (cf. chapitre phytoplancton) et le taux d'oxygène dissous moindre, il est probable que le cycle de l'azote soit plus avancé en automne, justifiant des concentrations de nitrite plus élevées.

Par comparaison avec les distributions interannuelles, au printemps 2017 seule la valeur de nitrite de la station *Référence* se détache nettement au-dessus de la valeur médiane. Cette station étant hors de portée du *Rejet* cela témoigne d'un effet strictement lié au milieu en 2017. Les valeurs de l'été sont, quant à elles, proches des médianes voir inférieures et sont supérieures aux médianes en automne, toutes stations confondues.

En comparaison avec la distribution interannuelle de nitrate, les valeurs de printemps et d'automne 2017 appartiennent à 25% des valeurs les plus fortes observées et les valeurs estivales correspondent aux médianes et ce toutes stations confondues.

Tableau 2-7 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les nitrate et nitrite sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non-significative).

Période prise en compte : 1989 - 2017		Printemps		Été		Automne	
		Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
NITRITE (NO2)	*Contrôle/Canal(*)*	W	< **0,01**	S	< **0,01**	S	< **0,01**
	Contrôle/Référence	W	0,99	W	1	S	0,14
	Contrôle/Rejet	S	**0,05**	S	< **0,01**	S	< **0,01**
	Canal(*)/Référence	W	0,08	S	< **0,01**	S	< **0,01**
	Canal(*)/Rejet	W	**0,02**	S	< **0,01**	S	< **0,01**
	Référence/Rejet	W	0,23	W	< **0,01**	S	**0,01**
NITRATE (NO3)	*Contrôle/Canal(*)*	S	< **0,01**	W	< **0,01**	S	< **0,01**
	Contrôle/Référence	W	< **0,01**	W	**0,05**	W	< **0,01**
	Contrôle/Rejet	S	**0,02**	S	< **0,01**	S	< **0,01**
	Canal(*)/Référence	S	0,52	S	0,06	S	0,66
	Canal(*)/Rejet	W	< **0,01**	W	< **0,01**	W	**0,01**
	Référence/Rejet	S	**0,02**	W	0,48	W	0,99

(*) en adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

Pour les deux paramètres nitrite et nitrate, une différence significative est mise en évidence de manière systématique entre le point *Contrôle* (large) et les points *Rejet* et *Canal*, les plus côtiers. Cette relation suggère un gradient côte large cohérent avec ce qui est habituellement observé en Manche. Le point *Référence* est trop distant des autres points (> 13 km) pour exclure une origine purement spatiale aux différences observées.

Ce gradient, également perceptible à l'échelle des points *Rejet* et *Canal*, conduit ces deux points à présenter trop de différences pour qu'elles soient directement imputables au fonctionnement du CNPE.

2.3.6 Phosphate et Silicate

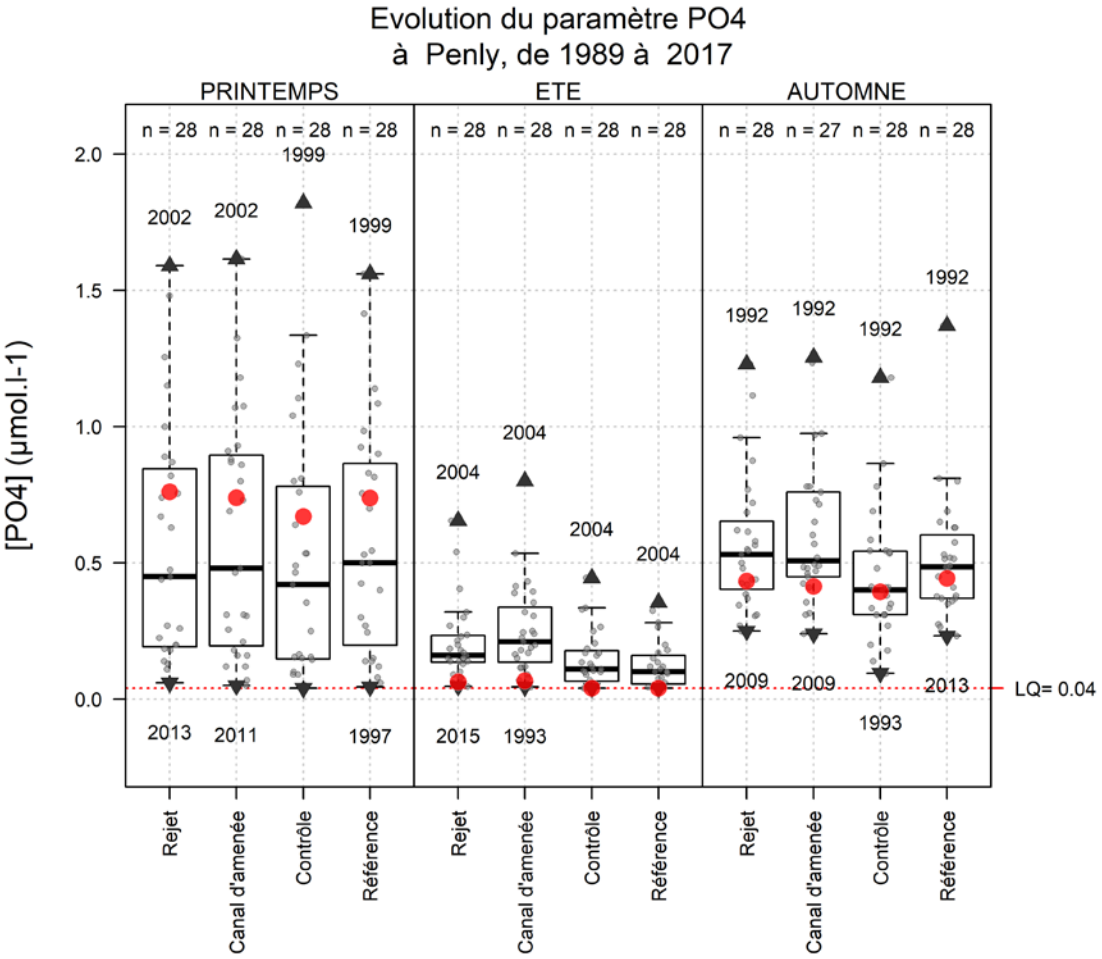
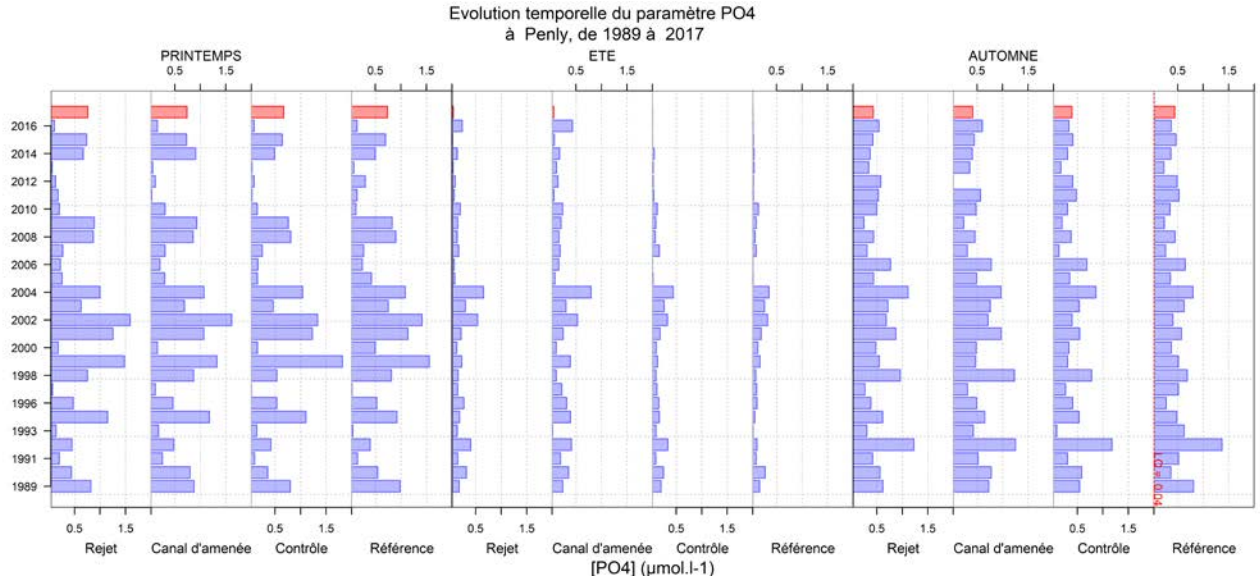


Figure 2-10 : Mesures de phosphates (PO4) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (détail des boxplots voir Figure 2-1). (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)



Les concentrations en phosphate de 2017 suivent une progression classique avec les plus fortes valeurs au printemps, chutant en été et augmentant de nouveau à l'automne pour atteindre environ 0,40µM, et ce toutes stations confondues.
En comparaison avec les distributions interannuelles, les valeurs de phosphate de 2017 sont supérieures aux médianes au printemps tandis qu'elles sont inférieures voir proches des minimums observés depuis le début du suivi en été et en automne.

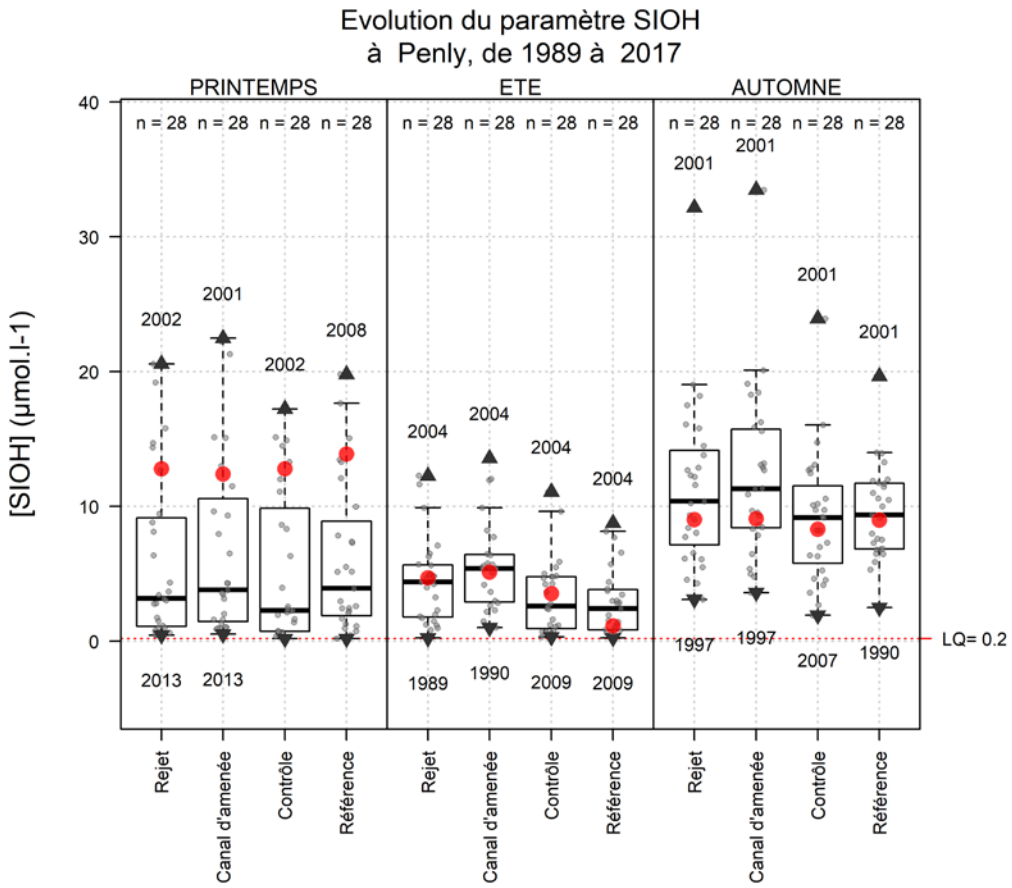
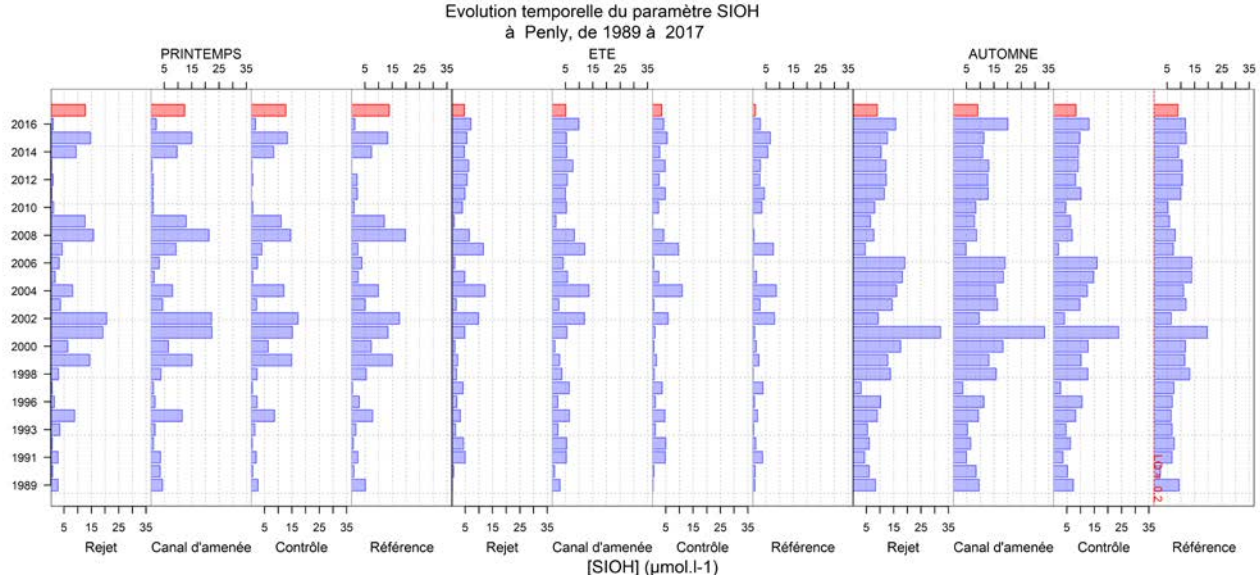


Figure 2-11 : Mesures de silicates (SIOH) réalisées aux 4 points *Référence,Contrôle, Rejet* et *Canal* (i.e. canal) au cours de l'année, mis en perspective de toutes les mesures réalisées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE. (détail des boxplots voir Figure 2-1. (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017).



En 2017, les teneurs de silicate sont les plus fortes au printemps, diminuent en été puis augmentent en automne pour atteindre environ 9µM. La station *Référence* présente des concentrations en silicate légèrement supérieure aux trois autres au printemps et inversement en été alors qu'elles sont homogènes spatialement en automne.

La comparaison avec les distributions interannuelles révèle que les concentrations du printemps 2017 appartiennent aux 25% des valeurs les plus fortes observées alors qu'elles sont proches des médianes aux autres saisons.

Les données de pluviométrie traitées au §1.6 Climatologie n'indiquent pas de fortes précipitations au printemps pouvant expliquer les taux élevés de silicate et de phosphate. Le bloom phytoplanctonique printanier a eu lieu suite à la campagne comme le prouve les images satellites (chapitre phytoplancton figure 3-4), ce qui laisse supposer que les sels nutritifs en questions n'ont pas été consommées. Les taux mesurés reflètent donc les stocks hivernaux de ces sels.

Tableau 2-8 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les phosphate et silicate sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non-significative).

Période prise en compte : 1989 - 2017		Printemps		Été		Automne	
		Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
PHOSPHATE	*Contrôle/Canal(*)*	W	< **0,01**	W	< **0,01**	W	< **0,01**
	Contrôle/Référence	T	**0,02**	W	0,26	W	**0,01**
	Contrôle/Rejet	W	< **0,01**	W	< **0,01**	T	< **0,01**
	Canal(*)/Référence	T	0,50	W	< **0,01**	T	**0,01**
	Canal(*)/Rejet	W	**0,03**	W	< **0,01**	W	< **0,01**
	Référence/Rejet	T	0,64	W	< **0,01**	T	0,08
SILICATE	*Contrôle/Canal(*)*	W	< **0,01**	T	< **0,01**	W	< **0,01**
	Contrôle/Référence	T	**0,03**	T	0,18	T	0,27
	Contrôle/Rejet	W	< **0,01**	T	< **0,01**	W	< **0,01**
	Canal(*)/Référence	W	0,40	T	< **0,01**	T	< **0,01**
	Canal(*)/Rejet	W	< **0,01**	T	< **0,01**	W	< **0,01**
	Référence/Rejet	T	0,76	T	< **0,01**	T	**0,01**

(*) en adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

Les résultats des tests sur le phosphate donnent une différence significative sur la majorité des couples testés. Une différence non significative est observée au printemps entre les stations *Référence* et *Rejet* et les stations *Canal* et *Référence*. La station *Référence* étant située hors d'influence du CNPE, la différence non significative des stations *Rejet* et *Canal* avec la station *Référence* appui le fait qu'il n'y a pas de gradient spatial en amont comme en aval du *Rejet* concernant le phosphate au printemps. Il en est de même à l'automne entre les stations *Référence* et *Rejet*.

Le CNPE peut représenter une source de phosphate pour l'environnement. Les circuits de refroidissement de l'îlot nucléaire sont alimentés en eau déminéralisée conditionnée au phosphate trisodique (Na_3PO_4). L'utilisation de ce réactif chimique s'élève en moyenne à 0,4 T/an (donnée EDF). Les purges des circuits peuvent alors occasionner des rejets de phosphate dans l'environnement. La différence significative n'est pas systématique (à chaque saison) entre la station *Rejet* et les autres stations, cela suggère que ces rejets sont très peu perceptibles.

Concernant le silicate, la majorité des résultats des tests révèle une différence significative sauf entre les 2 stations les plus au large (*Référence* / *Contrôle*). Ces deux stations, moins influencées par les apports côtiers, ont souvent des concentrations similaires, comme le suggèrent les réponses aux tests en été et à l'automne.

Les résultats similaires au phosphate sont observés au printemps, suggérant l'absence de gradient spatial entre le *Rejet* et les stations *Canal* et *Référence*.

2.3.7 Matière En Suspension - NTU

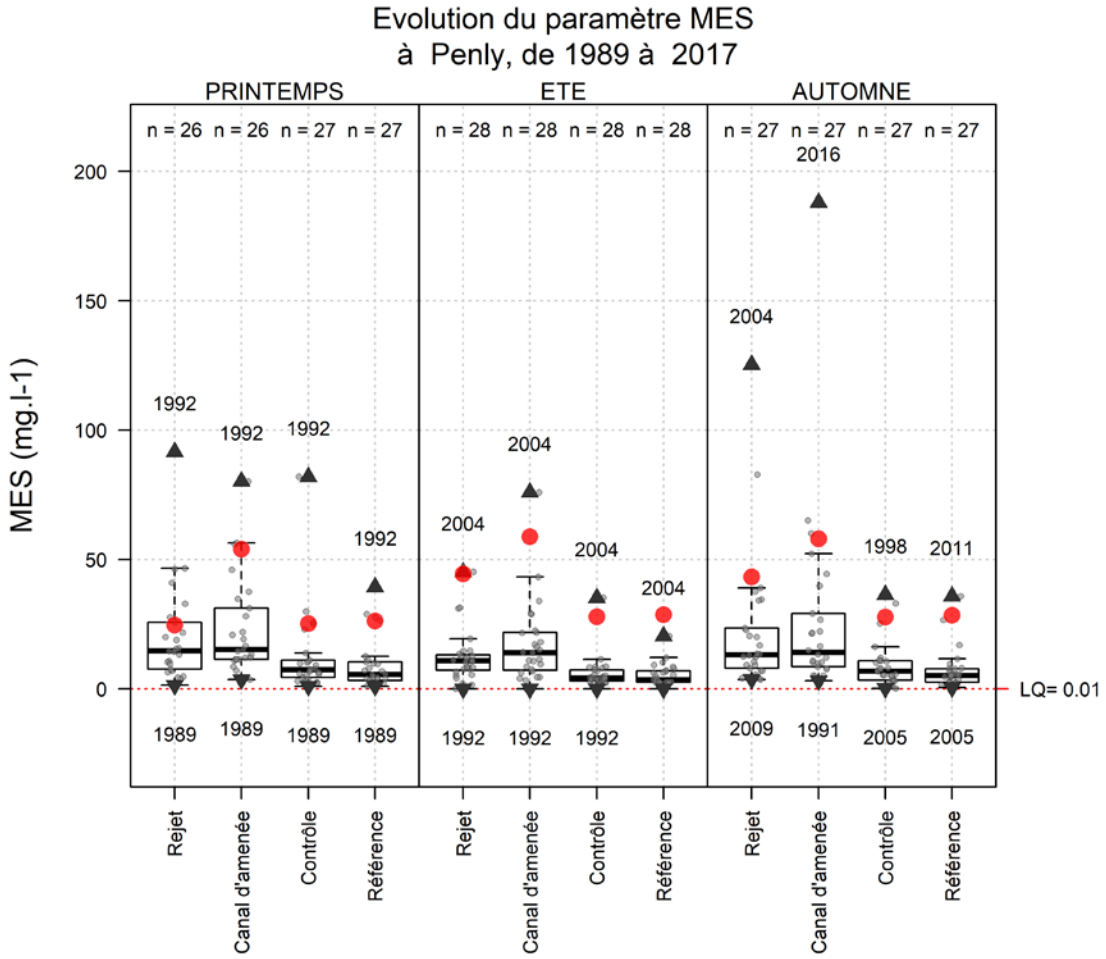
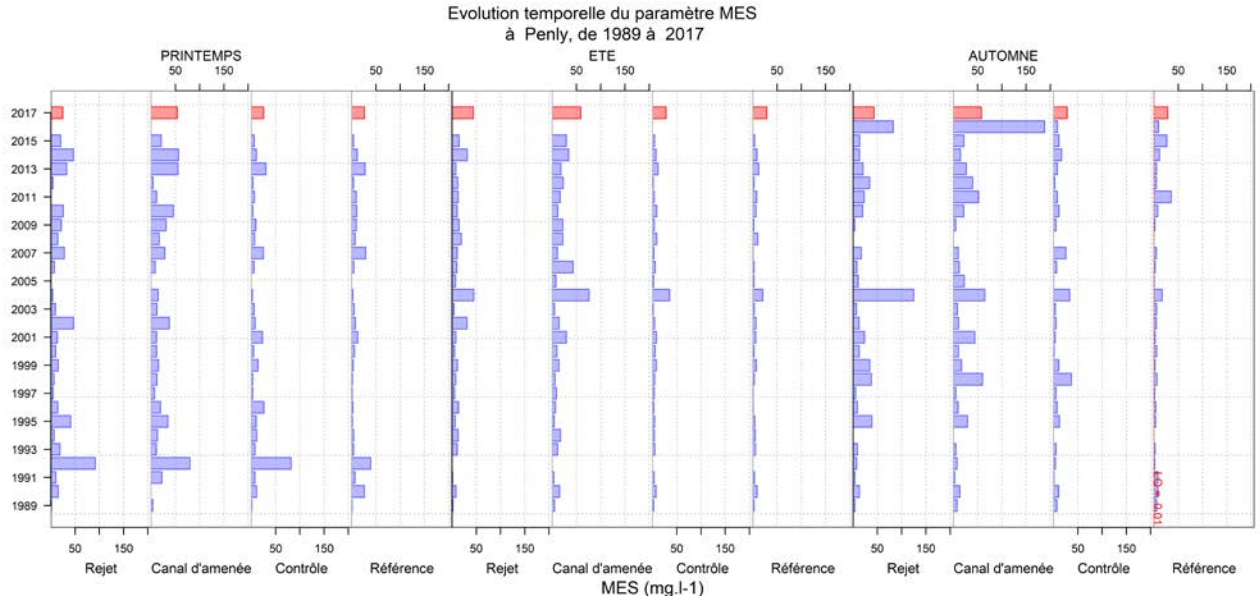


Figure 2-12 : Mesures de Matières en Suspension (MES) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective des mesures réalisées entre 2001 et 2011. (détail des boxplots voir Figure 2-1). (dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)



Les trois campagnes de 2017 se caractérisent par des valeurs de MES très similaires et une dynamique spatiale comparable. Les valeurs les plus fortes sont systématiquement mesurées au *Canal* (point le

plus à la côte) et les valeurs les plus faibles sur les points les plus au large (*Référence* et *Contrôle*). Le gradient côte-large est donc marqué et paraît indépendant de la saisonnalité.

Les distributions interannuelles confirment cette disparité spatiale et le gradient décroissant côte-large le plus marqué au printemps et en automne. L'année 2017 se distingue toutefois par le fait que les valeurs mesurées appartiennent à 10% des valeurs les plus fortes observées depuis le début du suivi.

Depuis 2016, la turbidité est mesurée en complément des Matières en suspension. Le nombre de donné (N<10) est encore trop insuffisant pour permettre une représentation en boxplot. Les données sont toutefois présentées sous la forme d'un simple nuage de points permettant d'apprécier les mesures de l'année en regard des mesures déjà réalisées (Figure 2-13). Les résultats sont très comparables à ceux des MES.

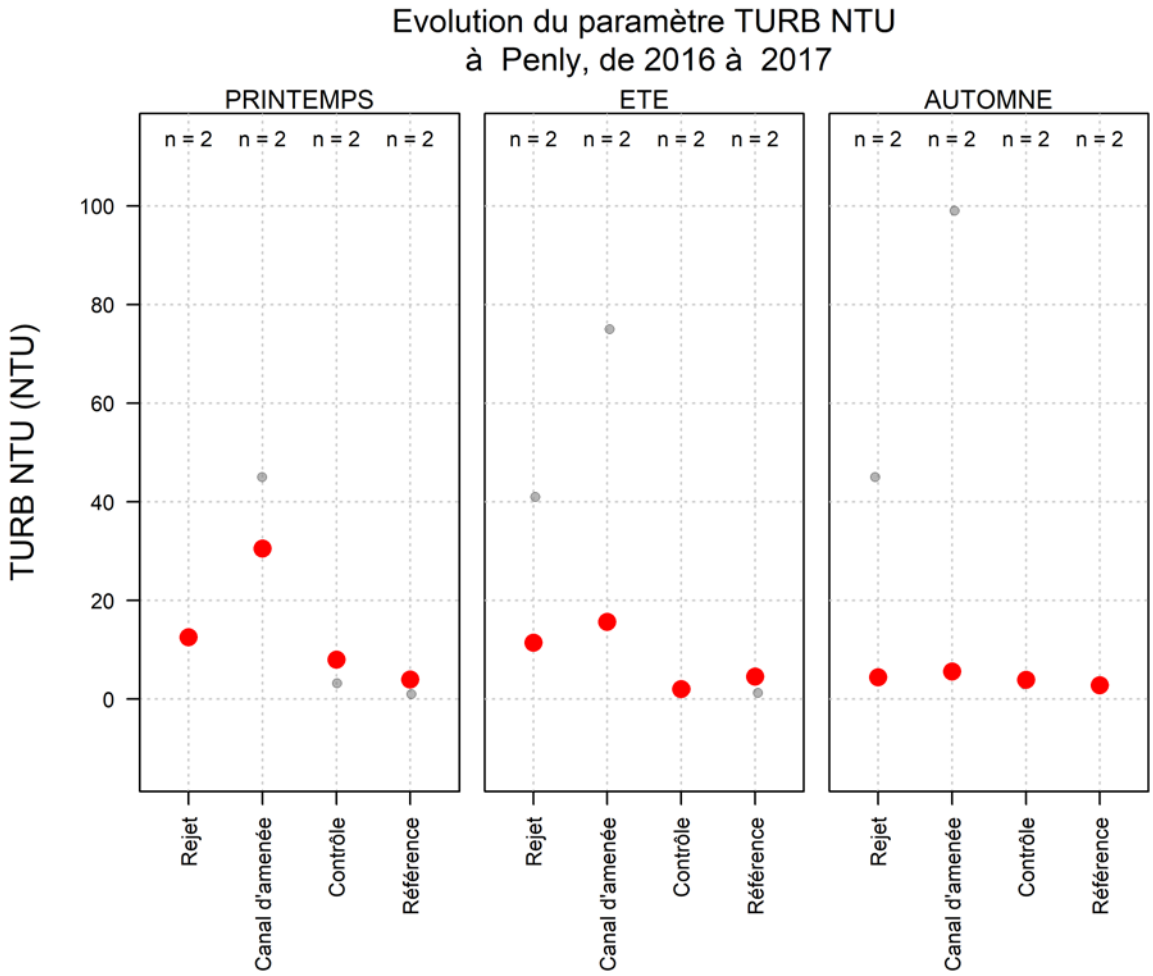


Figure 2-13 : Mesures de Turbidité (NTU) réalisées aux 4 points *Référence*,*Contrôle*, *Rejet* et *Canal* au cours de l'année, mis en perspective des mesures réalisées entre 2012 et 2017 (avec seulement 5 ans de recul, le nombre de données historiques est insuffisant pour une représentation sous forme de Boxplot).
(dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017)

Tableau 2-9 : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour les MES sur l'ensemble de la surveillance. ("W" : test de wilcoxon ; "T": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non-significative).

Période prise en compte : 1989 - 2017	Printemps		Été		Automne	
	Test	P-Value	Test	P-Value	Test	P-Value
Contrôle/Canal(*)	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**
Contrôle/Référence	W	0,23	W	0,48	W	0,08
Contrôle/Rejet	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**
Canal(*)/Référence	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**
Canal(*)/Rejet	T	**0,04**	W	**< 0,01**	W	0,12
Référence/Rejet	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**	W	**< 0,01**

(*) en adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

Tous les points diffèrent de manière significative sauf les deux situés les plus au large (*Contrôle* et *Référence*) qui sont systématiquement similaires. Cette relation mise en perspective de la spatialisation des points révèle un gradient côte-large peu sensible aux saisons. Seule la période automnale montre une homogénéité entre les points *Rejets* et *Canal*. Dans ce contexte les différences observées entre le *Rejet* et le *Canal* ne peuvent pas être imputable au seul fonctionnement du CNPE.

2.3.8 Trihalométhanes

Pour éviter le *fouling* dans les canalisations des circuits de refroidissement le CNPE de Penly utilise le procédé d'électrochloration. Les composés dérivés pouvant être retrouvés dans les eaux des rejets sont essentiellement des trihalométhanes. Il s'agit de composés volatiles, comme le chloroforme et le bromoforme, fréquemment identifiés dans les eaux chlorées. Leur structure chimique est homologue à celle du chloroforme (Abarnou et *al.*, 1990). Le bromoforme est la forme chimique dominante. Son temps de demi-vie dans l'eau de mer est inférieur à une heure (Abarnou, 1981). Les teneurs des différents dérivés chlorés varient selon la quantité de matière organique et d'ammoniaque dissous. Les quatre formes organo-halogénées recherchées sont les suivantes :

tribromométhane = "bromoforme" ($CHBr_3$),
dibromomonochloro-méthane ($CHBr_2Cl$),
dichloromonobromo-méthane ($CHBrCl_2$),
trichlorométhane = "chloroforme" ($CHCl_3$).

Ces composés dérivés sont des substances potentiellement toxiques pour la faune et la flore marine. Des cultures de microalgues (*Skeletonema costatum, Thalassiosira pseudonana, Glinodinium halli* et *Isochrysis galbana*) ont été caractérisées par un taux d'inhibition de croissance de 50 % à des concentrations en chloroforme et bromoforme supérieures à 32 mg/L (Erickson et Freeman, 1978). Depuis 1989, la majorité des trihalométhanes n'ont jamais été observés et les valeurs de résultats sont systématiquement inférieures aux seuils de détections (Figure 2-14).

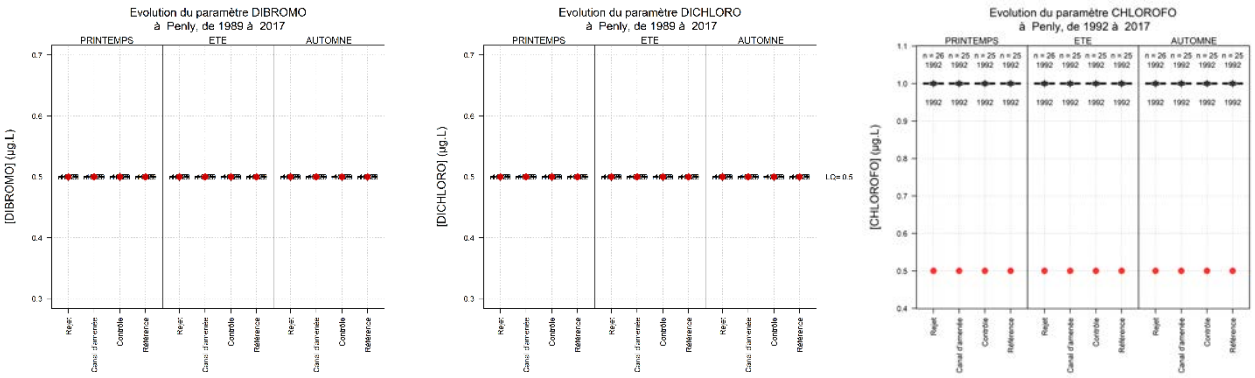


Figure 2-14 : Mesures de de trihalométhane (Dibromomonochloro-méthane, Dichloromonobromo-méthane et trichlorométhane (Chloroforme)) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective des mesures réalisées depuis 1989 (100 % des valeurs sont inférieures aux limites de Détection malgré un effort sensible de 50 % d'abaissement du seuil pour les trichlorométhane en 2017).
(dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017) (LD trihalométhanes=0,5 µg/L)

Seul le tribromométhane (bromoforme) a pu être détecté à des niveaux quantifiables. Ces valeurs supérieures aux limites de quantifications représentent toutefois moins de 15 % de l'ensemble des mesures réalisées depuis 1989.
Dans un tel contexte l'analyse statistique proposée pour analyser les similitudes entre les différents points de suivi n'a pas de sens.

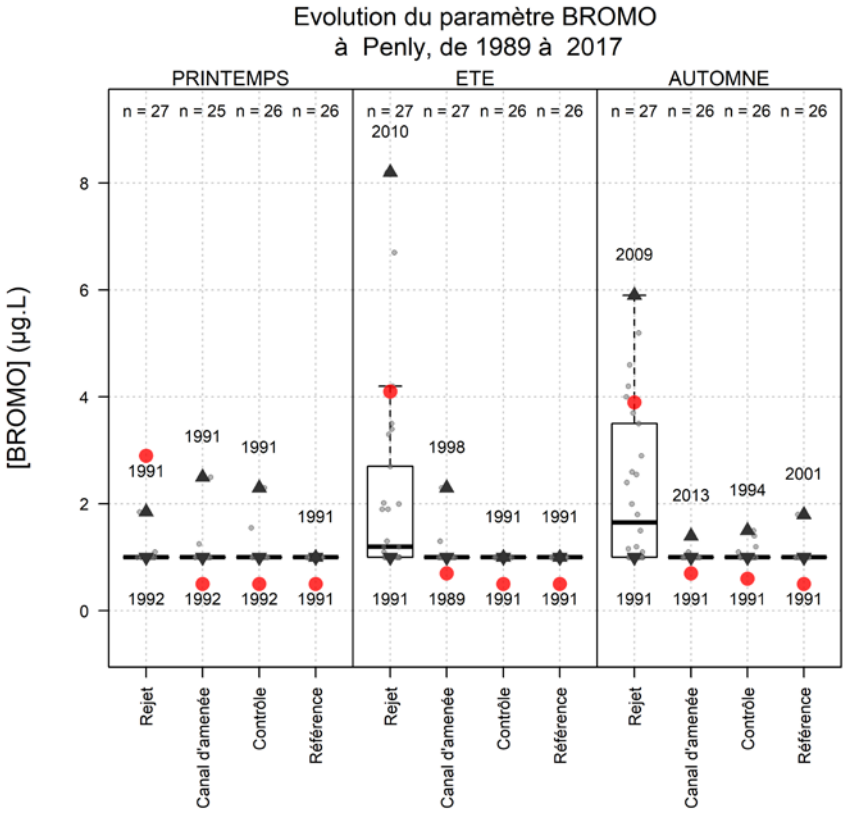


Figure 2-15 : Mesures de bromoforme (BROMO) réalisées aux 4 points *Référence,Contrôle, Rejet* et *Canal* au cours de l'année, mis en perspective des mesures réalisées depuis 1989.
(dates campagnes : 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017).

2.3.9 Hydrazine et éthanolamine

Suite à la parution de la décision n° 2008-DC-0089 concernant les prescriptions relatives aux modalités de prélèvement et de consommation d'eau et de rejets dans l'environnement des effluents liquides et gazeux pour l'exploitation des réacteurs du CNPE de Penly, un suivi des concentrations en hydrazine et éthanolamine dans le milieu récepteur a été initié en 2012.

Depuis 2016, les analyses des paramètres hydrazine et éthanolamine sont réalisés par le laboratoire SGS (Rouen). Les méthodes mises en œuvres reposent sur une analyse en chromatographie ionique avec détection conductimétrique.

Si la limite de détection (LD) reste la même d'une série d'analyses à l'autre (i.e. d'une campagne de surveillance à l'autre), les "interférences" des échantillons influent la LQ rendue. Ces interférences sont liées à la grande proximité des pics d'absorption de l'éthanolamine et du sodium (très présent en eau de mer). Elles nécessitent, pour chaque échantillon, de recalculer le seuil de quantification en fonction du retour à la ligne de base du signal. Ainsi, la limite de quantification pour l'éthanolamine est variable d'une série à l'autre (de 2 à 20 mg.L^{-1}). Les résultats montrent de manière systématique des niveaux inférieurs à la LQ pour ces 2 paramètres.

Tableau 2-10 : Synthèse des résultats analytiques pour les paramètres hydrazine et éthanolamine dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE de Penly

		Référence	*Contrôle*	*Rejet*	*Canal*
AVRIL	*hydrazine (µg L^{-1})*	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)
	éthanolamine (mg L^{-1})	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)
JUIN	*hydrazine (µg L^{-1})*	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)
	éthanolamine (mg L^{-1})	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)
SEPT.	*hydrazine (µg L^{-1})*	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)	<20 (LQ)
	éthanolamine (mg L^{-1})	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)	<2 (LQ)

En 2017, l'ensemble des concentrations d'éthanolamine obtenues sont inférieures à la LQ qui est de 2 mg/L pour les échantillons analysés au printemps et en été et de 20mg/L en automne. Il en est de même pour l'hydrazine, la LQ étant de 20µg/L lors des trois campagnes.

2.4 Mise en perspective des résultats IGA avec la DCE

2.4.1 La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) :

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE) établit le principe d'une politique communautaire dans le domaine de l'eau en vue d'une meilleure gestion des milieux aquatiques. Elle s'applique à l'ensemble des pays membres de l'Union Européenne. Reposant sur un calendrier commun, elle fixe comme objectif général la restauration et le maintien du bon état écologique et chimique de l'ensemble des écosystèmes aquatiques (incluant les eaux marines côtières).

En aval des 5 grands bassins hydrographiques métropolitains, les eaux littorales (côtières et estuariennes) ont été découpées en unités géographiques cohérentes (masses d'eau) selon des critères géomorphologiques (i.e. hydrodynamiques et sédimentologiques). Pour exemple, le littoral du bassin Seine-Normandie, accueillant 3 des 5 CNPE littoraux, a ainsi été découpé en 19 masses d'eau côtières (MEC) et 8 masses d'eau de transition (MET). L'article 8 de la DCE prévoit la mise en œuvre d'un programme de surveillance des masses d'eau, de manière à "dresser un tableau cohérent et complet de l'état des eaux au sein de chaque bassin hydrographique".

2.4.2 Le Contrôle de surveillance DCE

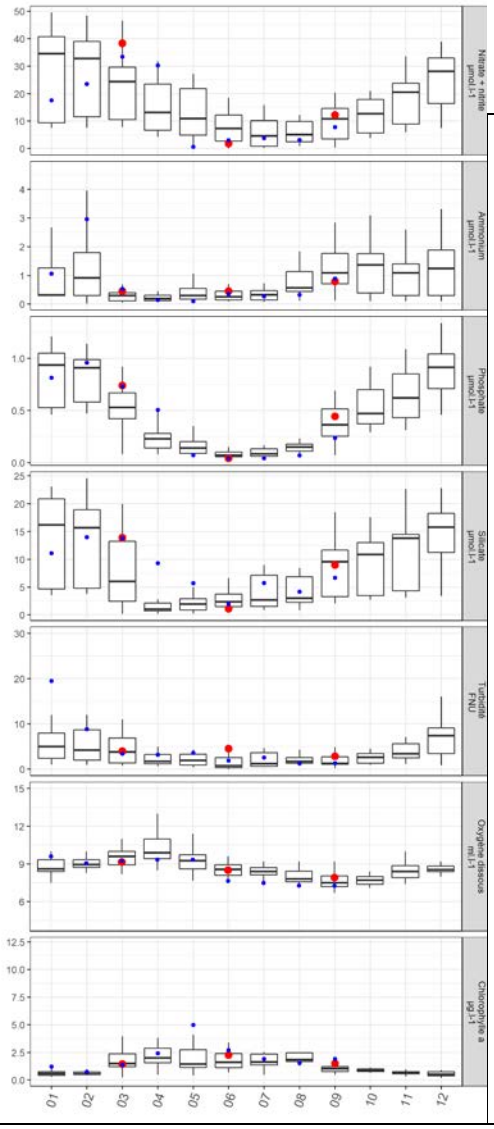
Le Contrôle de la surveillance est appliqué depuis 2007 dans le bassin Seine-Normandie sur des paramètres permettant de qualifier l'état biologique, l'état hydromorphologique, l'état physico-chimique et l'état chimique. Les données sont acquises et analysées selon des méthodes de *Référence* et des procédures standardisées.

2.4.3 La surveillance IGA

Bien antérieurs à la mise en œuvre de la DCE, le suivi des 5 CNPE littoraux, initié à la fin des années 1970, s'est organisé pour répondre spécifiquement aux attentes et préoccupations locales. Les stratégies mises en œuvre (e.g. points de suivis, fréquences, paramètres, compartiment) ont régulièrement évolué pour s'adapter aux contraintes et/ou au contexte de chaque CNPE, contrairement à la DCE pour laquelle les exigences de standardisation, d'homogénéisation et de normalisation ont toujours constitué un objectif principal des stratégies mises en œuvre.

Bien que reposant sur des stratégies différentes, une première approche intégrative des suivis réalisés dans le cadre du suivi IGA et DCE est proposé ici.

Figure 2-16: mise en perspective de la localisation du point *Référence* de PENLY (PEN04) par rapport à la masse d'eau DCE (HC18). En Bleu le point de suivi DCE "DIEPPE".



LEGENDE :

BoxPlot *(quartiles & médiane)*: DCE 2010-2016 [point DCE DIEPPE (HC18)]

● : DCE 2017 [point DIEPPE (HC18)] (non validé)

● : IGA 2017 [Point pen04]

La masse d'eau HC18 est suivie dans le cadre de la DCE. Le point de suivi DCE "DIEPPE" est ici retenu comme référence.

Préalablement à toute mise en perspectives IGA/DCE, il faut conserver à l'esprit :

1) Le point de *Référence* IGA se situe en dehors de la masse d'eau DCE. Il est distant de plus de 5 km du point de suivi DCE.

2) Les dates d'échantillonnage pour la DCE et pour le suivi du CNPE sont susceptibles de présenter des écarts significatifs :

Nb de jour d'écart DCE/IGA	***Mars***	***avril***	***septembre***
	± 15 j	*± 5j*	*± 26 j*

3) Dans le cadre du suivi du CNPE, l'oxygène dissous est mesuré en surface. En revanche, dans le cadre DCE, c'est la valeur mesurée au fond qui est utilisée pour qualifier l'état de la masse d'eau. La mise en perspective DCE / IGA pour ce paramètre doit donc être relativisée

4) Seules les données DCE historiques (Boxplot) présentent un statut "validé". Celles de l'année le seront au cours de l'année suivante (procédure de validation DCE).

Au vu de l'ensemble de ces contraintes, la mise en perspective des résultats IGA et DCE doit être regardée avec recul. La variabilité des deux séries de données n'est objectivement pas comparable et peut avoir des origines multiples (spatiale, temporelle).

Cependant, les données acquises en 2017 sur le point *Référence* dans le cadre du projet IGA, sont concordantes avec le cycle saisonnier classique observé sur le point DCE Dieppe.

2.5 Conclusions

Pour 2017, les paramètres suivis dans le cadre de la surveillance du compartiment pélagique ne présentent pas de profils atypiques en regard de ce qui est habituellement observé. Les différences spatiales entre les points de suivis (et le point *Référence* en particulier) mettent le plus souvent en évidence un gradient côte-large caractéristique de la variabilité naturelle du milieu à Penly. Si les écarts thermiques entre la station "*Rejet*" et les stations "*Référence*" et "*Contrôle*" observés en 2017 peuvent être considérés comme importants, les taux de dilution compris entre 70 et 80 % démontre un pouvoir de dispersion et de dilution important quel que soit la saison.

Le suivi 2017 de l'ensemble des sels nutritifs ne montre pas de tendance unique applicable à chaque nutriment. Les valeurs estivales de nitrate montrent des niveaux de consommation de nutriments classique malgré des valeurs printanières apparentes plus élevées qu'habituellement et une recharge effective en automne. Les taux élevés d'oxygène dissous au printemps coïncident avec la faible teneur de biomasse chlorophylienne et le retard du bloom printanier. En conséquence les stocks hivernaux de sels nutritifs sont toujours présents dans le milieu lors de la campagne du 4 avril. Malgré cette particularité, le cycle saisonnier attendu (Figure 0-1) est ainsi respecté pour tous les nutriments excepté pour l'ammonium. Les faibles niveaux observés, l'homogénéité saisonnière au point *Référence* et l'absence de cycle saisonnier marqué pour ce nutriment le distingue des autres sels.

En dehors de l'élévation de la température aux abords immédiats des bouches de rejets, les valeurs observées cette année s'inscrivent dans l'intervalle de celles enregistrées depuis le début du suivi soit deux ans avant la mise en fonctionnement du site de Penly. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment physico-chimie ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

2.6 Annexe

Tableau 2-11 : Récapitulatif des résultats de surveillance du compartiment pélagique pour l'année 2017 à Penly (Cf Tableau 2-2 pour le détail des LQ)

Date	***Paramètre***	***Canal***	***Référence***	***Rejet***	***Contrôle***
23-mars	*Température (°C)*	8,95	8,97	11,78	8,87
	Salinité	33,38	33,09	33,16	33,49
	MES (mg/L)	54	26,3	24,6	25,2
	Oxygène dissous (mg/L)	9	9,2	9	9,2
	Turbidité en FNU	30,5	3,96	12,55	8,02
	Nitrate (µM)	33,4	38,1	33,1	32,4
	Nitrite (µM)	0,223	0,225	0,207	0,184
	Ammonium (µM)	0,382	0,451	0,877	0,294
	Phosphate (µM)	0,739	0,738	0,761	0,67
	Silicate (µM)	12,4	13,9	12,8	12,8
	Bromoforme (µg L^{-1})	<0,5	<0,5	2,9	<0,5
	Chloroforme (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dichloromonobromométane (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dibromomonochlorométhane(µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Hydrazine (µg L^{-1})	<20	<20	<20	<20
	Ethanolamine (mg L^{-1})	<2	<2	<2	<2
14-juin	*Température (°C)*	17,71	16,42	20,23	17,07
	Salinité	33,88	34,07	33,91	34,05
	MES (mg/L)	58,8	28,7	44,4	27,9
	Turbidité en FNU	15,64	4,54	11,43	2,01
	Oxygène dissous (mg/L)	7,8	8,5	7,8	8
	Nitrate (µM)	2,425	1,738	2,218	1,84
	Nitrite (µM)	0,135	0,102	0,112	0,09
	Ammonium (µM)	0,787	0,455	0,613	0,28
	Phosphate (µM)	0,067	0,04	0,063	0,04
	Silicate (µM)	5,14	1,15	4,71	3,55
	Bromoforme (µg L^{-1})	0,7	<0,5	4,1	<0,5
	Chloroforme (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dichloromonobromométane (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dibromomonochlorométhane(µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Hydrazine (µg L^{-1})	<20	<20	<20	<20
	Ethanolamine (mg L^{-1})	<2	<2	<2	<2
27-sept	*Température (°C)*	17,73	17,57	20,21	17,65
	Salinité	33,6	33,9	33,6	33,9
	MES (mg/L)	58	28,5	43,3	27,8
	Turbidité en FNU	5,6	2,8	4,4	3,9
	Oxygène dissous (mg/L)	8,4	7,91	8,2	8,2
	Nitrate (µM)	12,775	11,879	13,476	11,723
	Nitrite (µM)	0,393	0,278	0,34	0,296
	Ammonium (µM)	1,23	0,791	0,579	0,275
	Phosphate (µM)	0,414	0,443	0,433	0,394
	Silicate (µM)	9,09	8,98	9,03	8,32
	Bromoforme (µg L^{-1})	0,7	<0,5	3,9	0,6
	Chloroforme (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dichloromonobromométane (µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Dibromomonochlorométhane(µg L-1)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	Hydrazine (µg L^{-1})	<20	<20	<20	<20
	Ethanolamine (mg L^{-1})	<20	<20	<20	<20

Chapitre Phytoplancton :

Rédaction

Sylvaine Françoise (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Dénombrements :

Sylvaine Françoise (LERN)
Gaëlle Courtay (LERN)

Mesures PAM :

Sylvaine Françoise (LERN)

Traitement des images satellite :

Francis Gohin (Ifremer/Dyneco)
Sylvaine Françoise (LERN)
Gaëlle Courtay (LERN)

Prélèvements et Analyses :

Sylvaine Françoise (LERN)
Frank Maheux (LERN)
Olivier Pierre-Duplessix (LERN)
Benjamin Simon (LERN)
Emilie Rabiller (LERN)
Gaëlle Courtay (LERN)

Codes de programmation de traitements des données (R) :

Tania Hernandez-Farinas (LERN)
Sylvaine Françoise (LERN)

Illustrations et statistiques :

Tania Hernandez-Farinas (LERN)
Sylvaine Françoise (LERN)

Expertise thématique :

Tania Hernandez-Farinas (LERN)

3 Phytoplancton

Les communautés phytoplanctoniques, premier maillon de la chaîne trophique, se caractérisent par une grande diversité d'organismes microscopiques que l'on peut regrouper par taille : le picophytoplancton (taille < 2 µm), le nanophytoplancton (taille comprise entre 2 et 20 µm) et le microphytoplancton (taille > 20 µm). Ces peuplements sont appréhendés à travers différents paramètres :

- **Chlorophylle *a*** : présente chez tous les organismes autotrophes, la chlorophylle est un bon estimateur de la biomasse de phytoplancton.
- **Production primaire** : représente la production potentielle maximale d'un peuplement in vivo en condition optimum. Elle permet également d'estimer l'état physiologique du peuplement.
- **Composition floristique** : l'identification et le dénombrement des espèces qui composent le peuplement permettent d'en caractériser la structure et la diversité.

Ces paramètres (photosynthèse, assemblages d'espèces, biomasses) sont gouvernés à la fois par des facteurs physiques (conditions environnementales telles que la température, la lumière …) et des facteurs nutritionnels, telles que la concentration en sels nutritifs (azote, phosphate et silicate). La première source de variabilité pour ces facteurs, physiques et nutritionnels relèvent de la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels sont en outre étroitement liés aux apports terrestres (fleuves, cours d'eau) et dans une moindre mesure aux apports atmosphériques qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique. Dans les eaux tempérées françaises les teneurs maximales en sels nutritifs (ou nutriments) sont observées en hiver (notamment les silicates, source nutritive principale de la famille des Diatomées pour structurer leur squelette externe (frustule)). Ainsi, au printemps (augmentation de la luminosité et de la température) les Diatomées vont profiter de ces stocks hivernaux de silice pour dominer la communauté phytoplanctonique.

3.1 Stratégie de surveillance

Les mesures de chlorophylle *a* ont été initiées en 1989 (début de la surveillance) et perdurent de manière ininterrompue depuis.
Les dénombrements de cellules phytoplanctoniques ont également été initiés au début de la surveillance. D'abord réalisées de manière partielle (dénombrement limité aux espèces dominantes), depuis 2002, les flores sont dites "totales" (dénombrements exhaustifs sur l'ensemble du peuplement). Cette stratégie est toujours mise en œuvre aujourd'hui.

Enfin, si les premières tentatives de mesure de la Productivité Primaire remontent aux origines de la surveillance (1987) les modalités ont profondément évolué au cours de la surveillance avec l'abandon définitif de la méthode d'incubation dite "Carbone 14" en 2007 pour être remplacée par des mesures directes in-situ.

Plus récemment, l'imagerie satellitaire est venue enrichir les moyens d'appréhender l'activité des populations de phytoplancton à des échelles plus grandes. À partir d'images de la couleur de la surface l'océan, les concentrations en chlorophylle peuvent être estimées (la proportion de lumière bleue et rouge absorbée par l'eau renseigne sur les niveaux d'activité photosynthétique qui eux mêmes sont

représentatifs de la concentration en chlorophylle). Bien que cette approche ne fasse pas partie de la stratégie de surveillance réglementaire des CNPE nous la proposons en complément des mesures in-situ dans la mesure où elle permet de replacer les résultats de la surveillance dans un contexte plus large à la fois spatial, mais également temporel (saisonnier). Conformément aux modalités mises en œuvre dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE de Penly, les 4 stations échantillonnées pour le suivi du Phytoplancton sont les mêmes que celles définies pour l'hydrologie, la physico-chimie et la chimie (Cf Carte A, page 11.)

3.2 Matériels et Méthodes

L'ensemble des prélèvements d'eau en vue de l'étude du phytoplancton sont réalisés au moyen d'une bouteille à prélèvement (type Niskin) (voir Chapitre 2.2, page 39). Les mesures de production primaire reposent sur 3 réplicats, réalisés à chaque point de prélèvement.

Tableau 3-1 : Récapitulatif des paramètres de suivi du compartiment phytoplancton

Paramètres	REFERENCE	CONTRÔLE	REJET	POMPAGE
Chlorophylle *a*	X	X	X	X
Flore Totale	X	X	X	X
Production Primaire	X (3 réplicats)	X (3 réplicats)	X (3 réplicats)	X (3 réplicats)

En adéquation avec le point "*Rejet*", le point "*Canal*" se situe dans le *Canal* d'amenée.

3.2.1 Chlorophylle a

Les mesures de la chlorophylle *a* sont réalisées sur des échantillons d'eau brute issus de la bouteille de prélèvement, conservés au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au retour au laboratoire.

Tableau 3-2 : Méthodes analytiques normalisées pour la mesure de biomasse de phytoplancton

Paramètre [Code paramètre]	analytique normalisée [Code SANDRE	Limite de Quantification *	Précision **
Chlorophylle *a* **[CHLOROA]**	Fluorimétrie Aminot et Kérouel 2004 [530]	0,5 µg/L	Incertitude élargie minimale de 60% au niveau « LQ » Incertitude élargie ≤ 50% au niveau « 3 x LQ »
Phéopigments **[PHEO]**	Fluorimétrie Aminot et Kérouel 2004 [530]	0,5 µg/L	Incertitude élargie minimale de 60% au niveau « LQ » Incertitude élargie ≤ 50% au niveau « 3 x LQ »

*** Avis relatif aux limites de quantification des couples « paramètre-matrice » de l'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques du 21 Janvier 2012 / NOR : DEVL1131786V**

**** Arrêté du 27 Octobre 2011 portant modalités d'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et les milieux aquatiques au titre du code de l'environnement / NOR : DEVL1128052A**

3.2.2 Production primaire

La production Primaire est un paramètre qui fait partie de la surveillance depuis le début des années 1980. Elle a d'abord été appréhendée selon la méthode dite "d'intégration de C14". Lourde et coûteuse à mettre en œuvre, lui a été préférée à compter de 2007 une méthode plus simple et finalement beaucoup plus performante reposant sur des mesures in vivo. La conséquence la plus notable réside dans les changements de métriques entre les deux méthodes, ne permettant pas la continuité de la série historique.

Les informations de production primaire viennent enrichir et compléter celles apportées par les biomasses chlorophylliennes ou les flores totales. La production primaire appréhende le peuplement de phytoplancton dans toutes ses dimensions et tout particulièrement en intégrant les fractions du peuplement composées de pico et de nanophytoplancton.

Les mesures de production primaire sont réalisées sur des échantillons d'eau brute issus de la bouteille de prélèvement puis enregistrés directement à bord du bateau. Les données sont ensuite exploitées au retour au laboratoire.

La méthode mise en œuvre pour l'évaluation des paramètres de production primaire n'est pas encore normalisée à ce jour (i.e. intégrée au référentiel SANDRE).

Son principe repose sur une mesure directe des variations de fluorescence intracellulaire des cellules phytoplanctoniques au moyen d'un fluorimètre modulé (Pulse amplitude Modulated PAM- Walz) embarqué (Thompson et al., 2007 ; Kromkamp et al. , 2008 ; Schmitt-Jansen et al., 2008 ; Napoléon et al., 2012)[7]. Quand un photon est absorbé par une molécule de chlorophylle, un électron passe d'un stade stationnaire à un stade excité. Le retour au stade stationnaire est accompagné d'une dissipation de l'énergie sous forme de fluorescence (3-5 % in vivo).

L'émission de fluorescence est une des trois voies possibles de dissipation de cette énergie, car l'essentiel est utilisé dans les processus photochimiques qui mènent à la production de la matière organique par la cellule. Une plus faible quantité passe dans des processus de dissipation de chaleur. En modulant l'intensité lumineuse sur les cellules, il est alors possible de mesurer la fluorescence émise, qui elle, est proportionnelle à la part d'énergie utilisée pour la photosynthèse, et donc également à la production primaire. L'instrumentation utilisée (Water-Pam, Walz) permet de réaliser sur un petit échantillon d'eau de mer, des nombreuses mesures de fluorescence avec une gamme étendue d'éclairages calibrés en quelques minutes. Pour chaque point de suivi, sont ainsi obtenues expérimentalement des courbes construites avec les rapports de fluorescence en fonction de l'intensité

[7] Thompson, Peter A., Stephane Pesant, et Anya M. Waite. 2007. « Contrasting the vertical differences in the phytoplankton biology of a dipole pair of eddies in the south-eastern Indian Ocean ». Deep-Sea Research II, no 54:1003–1028.

Kromkamp, Jacco C., Nicole A. Dijkman, Jan Peene, Stefan G.H. Simis, et Herman J. Gons. 2008. « Estimating phytoplankton primary production in Lake IJsselmeer (The Netherlands) using variable fluorescence (PAM-FRRF) and C-uptake techniques ». *European Journal of Phycology* 43 (4):327-44. https://doi.org/10.1080/09670260802080895

Schmitt-Jansen, Mechthild, et Rolf Altenburger. 2008. « Community-level microalgal toxicity assessment by multiwavelength-excitation PAM fluorometry ». Aquatic Toxicology 86 (1):49- 58. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2007.10.001.

Napoléon, Camille, Virginie Raimbault, Liliane Fiant, Philippe Riou, Sébastien Lefebvre, Luis Lampert, et Pascal Claquin. 2012. « Spatiotemporal dynamics of physicochemical and photosynthetic parameters in the central English Channel ». Journal of Sea Research 69:43- 52. https://doi.org/10.1016/j.seares.2012.01.005.

lumineuse. Ce nuage de points est ensuite ajusté mathématiquement par un modèle (modèle de Webb), afin de déterminer les paramètres photosynthétiques caractéristiques

L'analyse des résultats bruts permet de calculer 2 paramètres :

- ***ETRmax*** : correspond à la capacité maximale de production primaire de l'échantillon, et par extension à l'estimation de production potentielle maximale du peuplement in vivo.
- ***Ymax*** : valeur calculée de l'"efficacité quantique maximum du photosystème II. Ce paramètre donne une indication de l'état physiologique du peuplement.

Tableau 3-3: : Échelle d'interprétation de l'indice de qualité physiologique (Ymax)

Valeur de Y_{max}	Interprétation
≥ 0,6	Très bon état physiologique.
0,5 à 0,6	Bon état
0,4 à 0,5	Etat moyen
0,3 à 0,4	Mauvais état
< 0,3	Très mauvais état

3.2.3 Dénombrement du phytoplancton

Les flores totales (dénombrements à l'espèce) sont réalisées sur des échantillons d'eau brute, issus de la bouteille de prélèvement, fixées au Lugol acide puis conservées au frais en glacière et à l'abri de la lumière jusqu'au retour au laboratoire.

La détermination et le comptage des espèces s'effectuent avec un microscope inversé à contraste de phase. Pour s'assurer d'un intervalle de confiance au maximum de 20%, un minimum de 100 cellules doit être dénombré (Lund et al., 1958 ; Neaud-Masson, 2015)[8]. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

Tableau 3-4: Références analytiques normalisées pour le dénombrement du phytoplancton

Paramètre	Méthode analytique normalisée	Limite de Quantification	Intervalle de confiance
Dénombrement	**NF EN 15972** Qualité de l'eau - Guide pour l'étude quantitative et qualitative du phytoplancton marin **EN 15204** Qualité de l'eau – Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl)	100 Cell./L	< 20 % (si nb cell > 100)

8 Lund, J.W.G., Kipling, C. & Le Cren, E.D. 1958. The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting, Hydrobiologia, 11 (2) : 11: 143. https://doi.org/10.1007/BF00007865

Neaud-Masson Nadine (2015). Observation et dénombrement du phytoplancton marin par microscopie optique photonique - Spécifications techniques et méthodologiques appliquées au REPHY. Document de méthode. R.INT.ODE/DYNECO/VIGIES/15-13. http://archimer.ifremer.fr/doc/00292/40293/

3.2.4 Télédétection satellitaire

Les images satellites de la chlorophylle sont produites par l'Ifremer (algorithme OC5, Gohin et al., 2002 & 2011)[9] à partir de séries d'acquisitions de réflectance obtenues par les caméras SeaWiFS , MERIS, MODIS et VIRRS. Les moyennes mensuelles sont calculées à partir des images des caméras MODIS et VIIRS. Toutes ces séries ont été traitées avec le même algorithme et sont mises à disposition par le projet de recherche S3 EUROHAB[10].
Les observations satellites de l'année en cours (fréquence mensuelle) sont à mettre en perspective de la synthèse mensuelle moyenne calculée sur la période 2011-2016 (plan de gestion en cours pour la DCE). Les deux approches reposent sur le même principe : pour chaque pixel, les valeurs de toutes les images exploitables sont moyennées pour obtenir la valeur moyenne mensuelle, à l'échelle de la seule année étudiée pour la première série de cartes (Voir Figure 2.3) à l'échelle de la période considérée pour la synthèse moyenne mensuelle (2011-2016). Les observations de l'année étudiée peuvent ainsi être mise en perspective du niveau moyen pluriannuel de distribution de la chlorophylle *a* en Manche évaluée pour la période du dernier plan de gestion DCE (2011-2016).

3.2.5 Traitement et exploitation des données

Les traitements et exploitation des données acquises s'articulent autour de 2 principes:

- **Une représentation graphique** : La mise en perspective de la variabilité spatiale (entre les points) et saisonnière (entre les campagnes) des résultats observés au cours de l'année, avec la variabilité interannuelle observée historiquement depuis que le paramètre est suivi dans le cadre de la surveillance (peut remonter aux débuts des années 1980) [11].
  Toutes ces dimensions sont combinées sous une seule et même représentation graphique, le BoxPlot, dont le principe est rappelé ci-dessous (Figure 3-1).

  Les années pour lesquelles des valeurs records ont été observées sont identifiées directement sur le graphique, sauf pour les années où les valeurs minimum observées correspondent à des seuils (LD ou LQ) de nature analytique.
- **Une approche statistique** : les résultats observés durant l'année en cours sont intégrés dans la série historique avec l'objectif d'évaluer si des différences significatives entre les points se dégagent (en particulier entre les points d'entrée et de sortie du CNPE). Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été proposés au début des années 2000. Ils sont remis à jour chaque année.

[9] Gohin, F., Druon, J. N., and Lampert, L. 2002. A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by Seadas in coastal waters, International Journal of Remote Sensing, 23, 1639-1661, doi:10.1080/01431160110071879.
Gohin, F. 2011. Annual cycles of chlorophyll-a, non-algal suspended particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters, Ocean Sci., 7, 705-732, doi:10.5194/os-7-705-2011, 2011. Open Access version : http://www.ocean-sci.net/7/705/2011/os-7-705-2011.pdfded particulate matter, and turbidity observed from space and in-situ in coastal waters, Ocean Sci., 7, 705-732, doi:10.5194/os-7-705-2011, 2011. Open Access version : http://www.ocean-sci.net/7/705/2011/os-7-705-2011.pdf

[10] https://interreg5a-fce.eu/fr/actualites-et-evenements/actualites/projet-s-3-eurohab-va-surveiller-la-proliferation-dalgues-toxiques-depuis-lespace/

[11] La stratégie analytique d'un même paramètre peut avoir changé au cours de la surveillance au point d'empêcher la continuité historique de la série. Ainsi, pour la composition floristique, les flores sont dites "Totales" (dénombrement exhaustif) seulement depuis 2001. Auparavant elles n'étaient que partielles et ne permettait pas d'appréhender la communauté de microphytoplancton dans son ensemble.

Pour chaque paramètre concerné, le choix du test statistique le plus approprié est conditionné par l'analyse de la distribution de la différence entre les valeurs prises en considération pour le test (point A vs point B). L'étude de cette distribution est réalisée à l'aide du test de Shapiro-Wilks. Lorsque la distribution est normale, le test T de Student pour données appariées est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

L'interprétation de ces tests est faite au seuil de risque de 5%. Si la valeur de "p-value" obtenue est inférieure à 0,05, le risque de faire une erreur en concluant que la différence est "significative" est limité (< 5%). Si par contre la valeur de "p-value" reste supérieure à la valeur de 0,05, alors les différences observées ne sont pas considérées comme significatives.

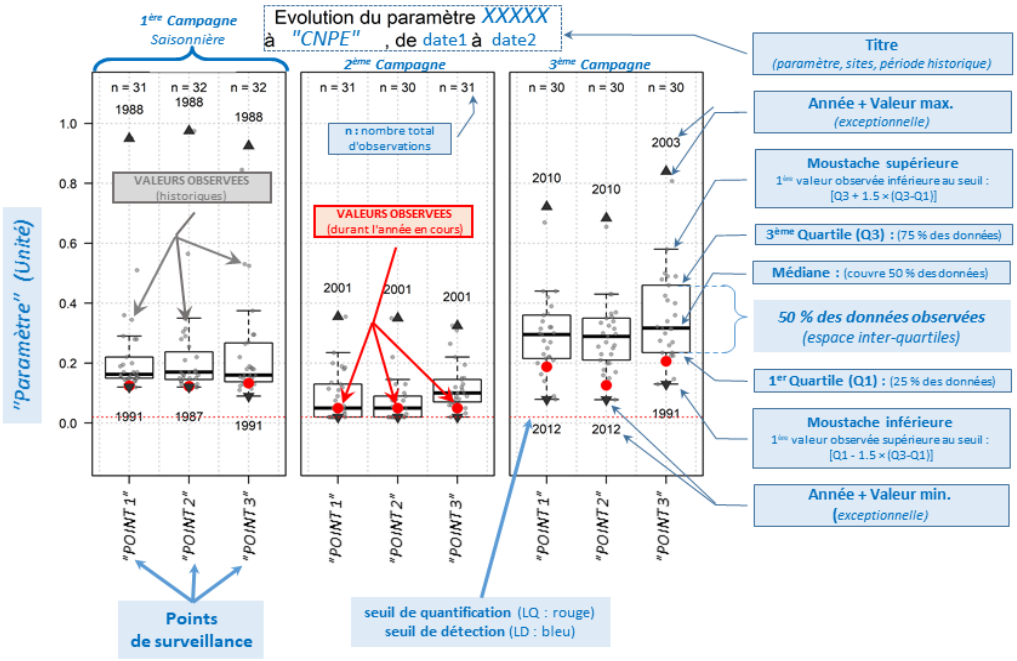


Figure 3-1 : Description des graphiques de type "Boxplots" utilisés pour présenter les résultats de la surveillance annuelle en perspective de l'ensemble des observations historiques de la surveillance

3.3 Résultats

Le détail des résultats par paramètre et par point est consultable en fin de chapitre (Tableau 2-17)

3.3.1 Biomasse chlorophyllienne

L'analyse de la chlorophylle *a* est effectuée selon la méthode mono-chromatique de Lorenzen (1967) (Annexe A p. 161.)

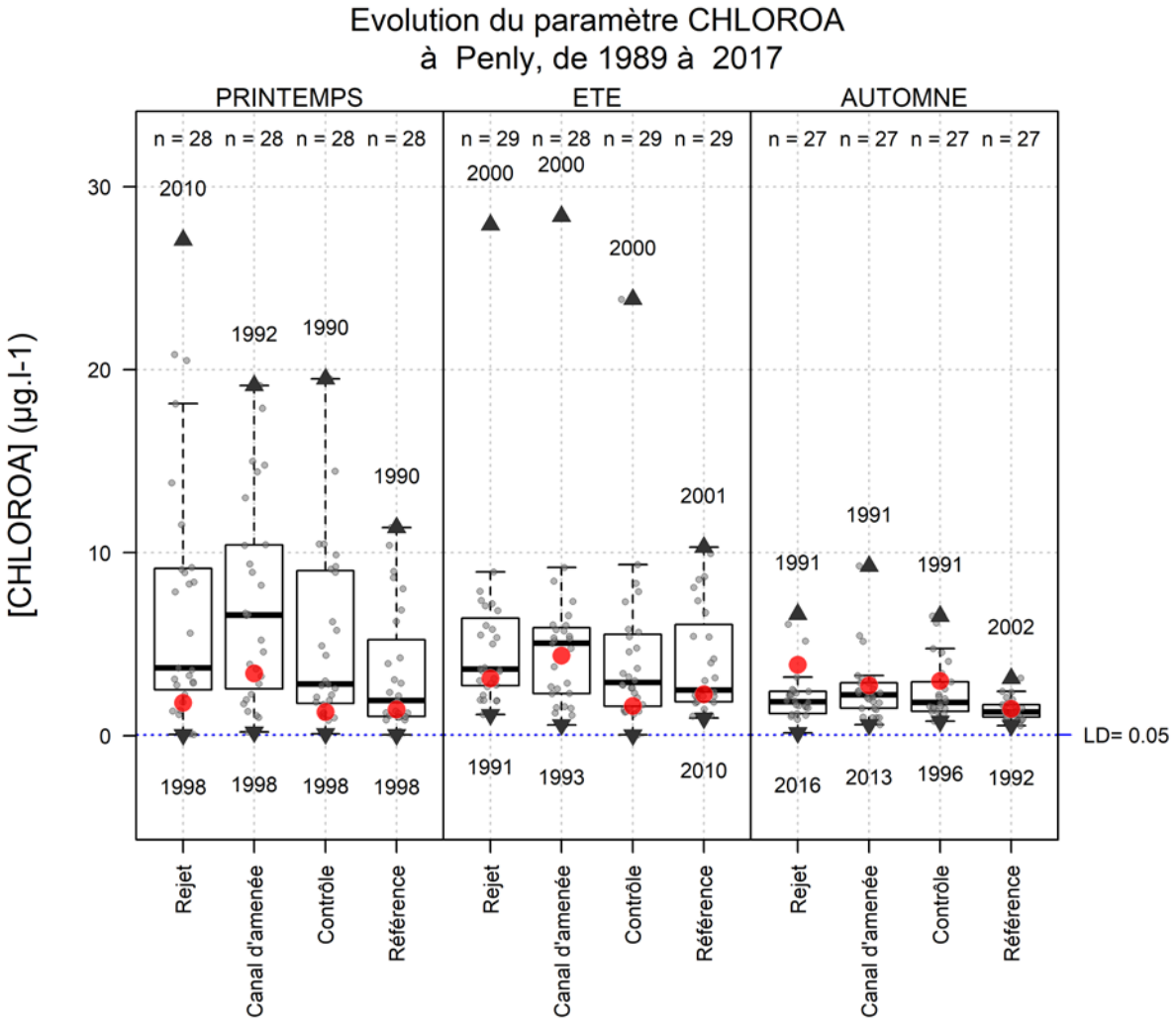
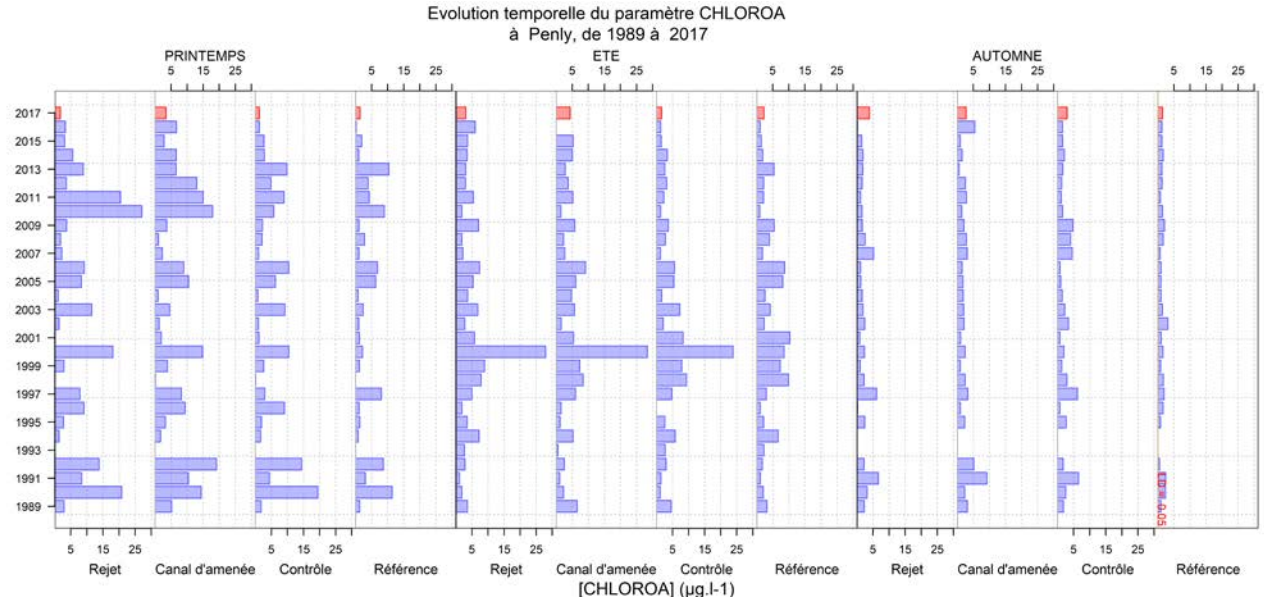


Figure 3-2:Mesures de Chlorophylle a réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les données observées depuis le début de la surveillance écologique du CNPE de Penly. (détail Boxplot voir Figure 3-1)

Du point de vue spatial et temporel, les valeurs de chlorophylle *a* durant l'année 2017 sont restées relativement stables. Quelle que soit la saison, un gradient côte large est présent, sans toutefois présenter de caractère d'exception majeure (les écarts restent dans la gamme habituelle).

L'année 2017, est caractérisée par des valeurs de chlorophylle *a* inférieures à la médiane sur tous les points au printemps et en été. Ces valeurs sont comprises entre 1,29µg/L au printemps sur le point *contrôle* et 4,39µg/L en été sur le point *canal*. En automne, elles sont au contraire supérieures à la médiane et la valeur sur le point *Rejet* est en dehors des moustaches.

À l'échelle interannuelle, la variabilité des concentrations en Chlorophylle *a* est plus importante au printemps et en été. En automne cette variabilité est plus faible et les concentrations en chlorophylle *a* dépassent rarement 4 µg/L.



L'arrivée de la production printanière a eu lieu en 2017 en avril (Voir Figure 3-4 - télédétection spatiale) ce qui peut expliquer la faible teneur de chlorophylle *a* obtenue au printemps.

Les valeurs de chlorophylle *a* de 2017 sont concordantes avec les valeurs d'abondance obtenues lors des flores totales (Voir Chapitre 3.3.3, p. 85) .

Tableau 3-5: : probabilité "p-value" associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour la Chlorophylle a. ("W" : test de Wilcoxon ; "t": test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

	PRINTEMPS		ETE		AUTOMNE	
STATIONS	Test	p_value	Test	p_value	Test	**P_VALUE**
CONTROLE/CANAL	T	**0,01**	T	**0,04**	T	0,71
CONTROLE/REFERENCE	W	**0,01**	W	0,65	W	**<0,01**
CONTROLE/REJET	W	**<0,01**	T	**0,01**	W	0,77
CANAL/REFERENCE	T	**<0,01**	W	0,21	W	**<0,01**
CANAL/REJET	W	0,58	T	0,83	W	0,34
REFERENCE/REJET	W	**<0,01**	W	**0,07**	W	**<0,01**

Les tests statistiques présentés dans le Tableau 3-5 montrent que des différences significatives existent au printemps entre la plupart des points. Ces différences traduisent un gradient spatial dans la distribution de la chlorophylle *a*. Comme vu précédemment, l'arrivée tardive de la production printanière explique ces différences. En automne, des différences significatives sont observées sur les points comparés au point *Référence*.

Télédétection spatiale

Du point de vue de la télédétection spatiale (Figure 3-3 & Figure 3-4), l'année 2017 est conforme à la moyenne des données acquises entre 2011 et 2016. Cependant, l'arrivée de la production printanière en chlorophylle *a*, qui d'ordinaire apparaît en mars, a été en 2017 légèrement tardive et débute dans les premiers jours d'avril. Ainsi, au niveau du CNPE de Penly, la plus forte moyenne de chlorophylle *a* est observée la troisième semaine d'avril.

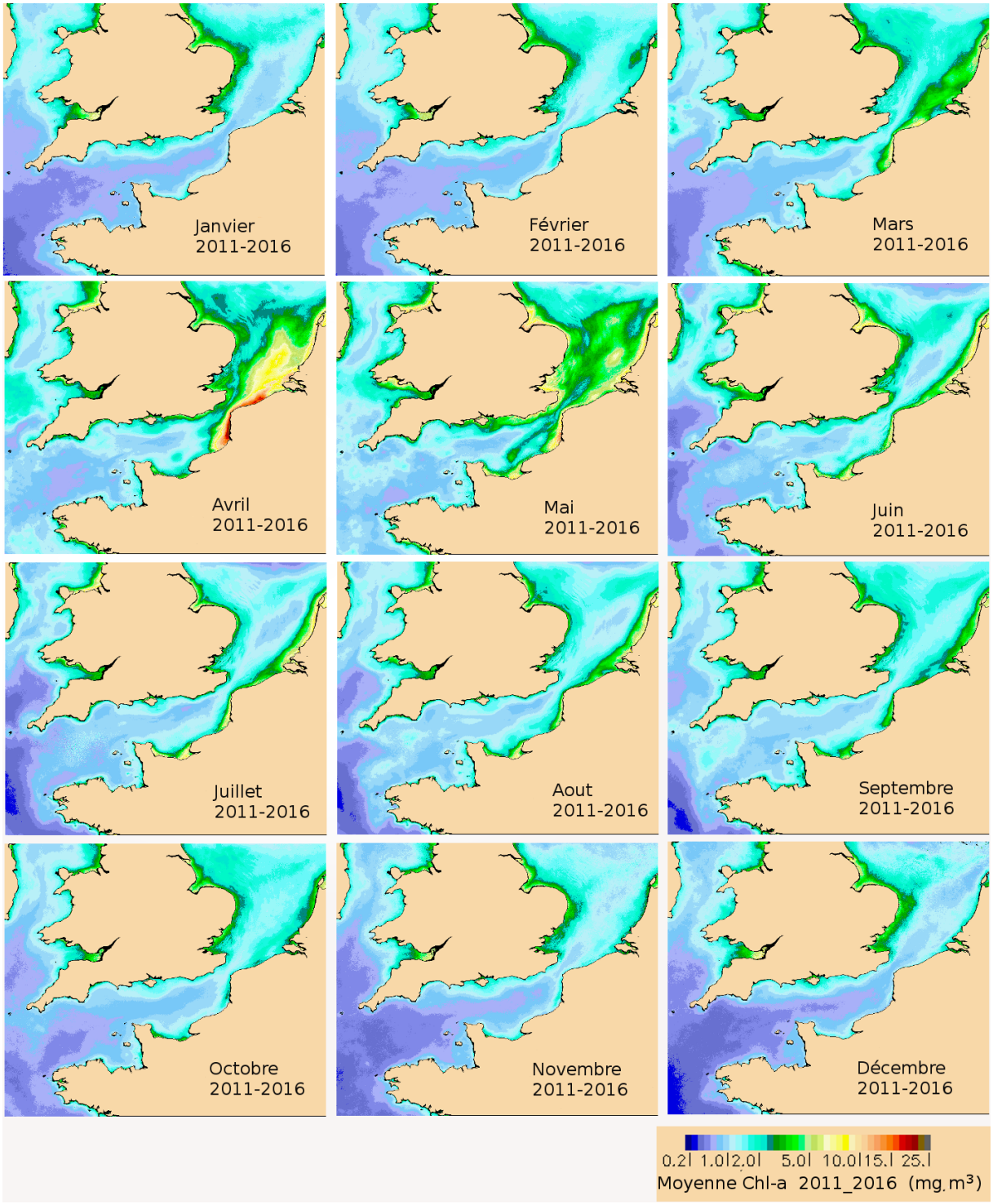


Figure 3-3 : Distribution moyenne mensuelle de la chlorophylle *a* en Manche entre 2011 et 2016 obtenue après traitement des images satellite des caméras SeaWiFS et MODIS.

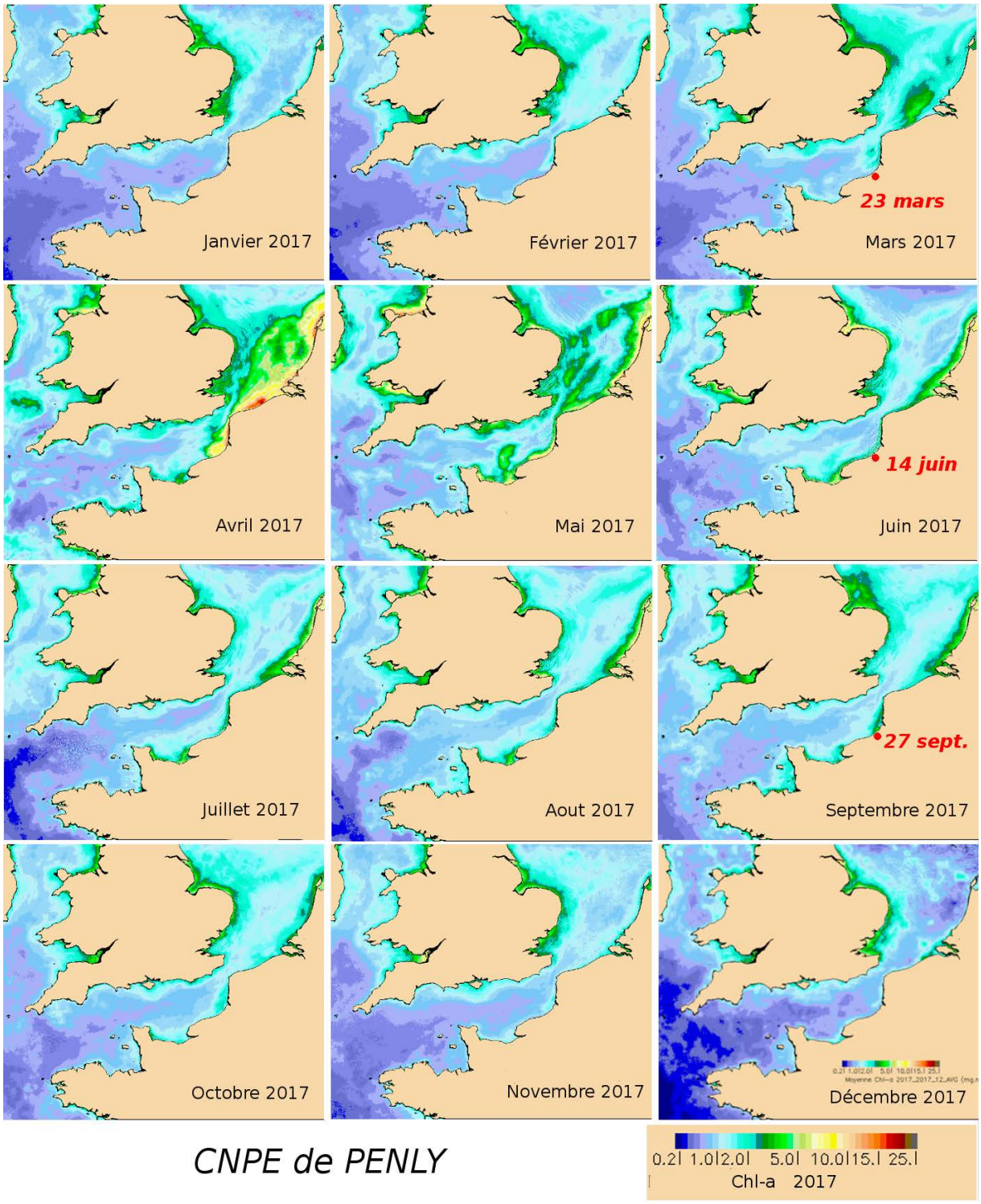


Figure 3-4: Distribution mensuelle moyenne de la chlorophylle *a* en Manche pour l'année en cours obtenue après traitement des images satellite des caméras SeaWiFS et MODIS. En rouge : la localisation du CNPE et la date de l'échantillonnage.

3.3.2 Production primaire

3.3.2.1 Analyses in-situ de la production primaire (rETR)

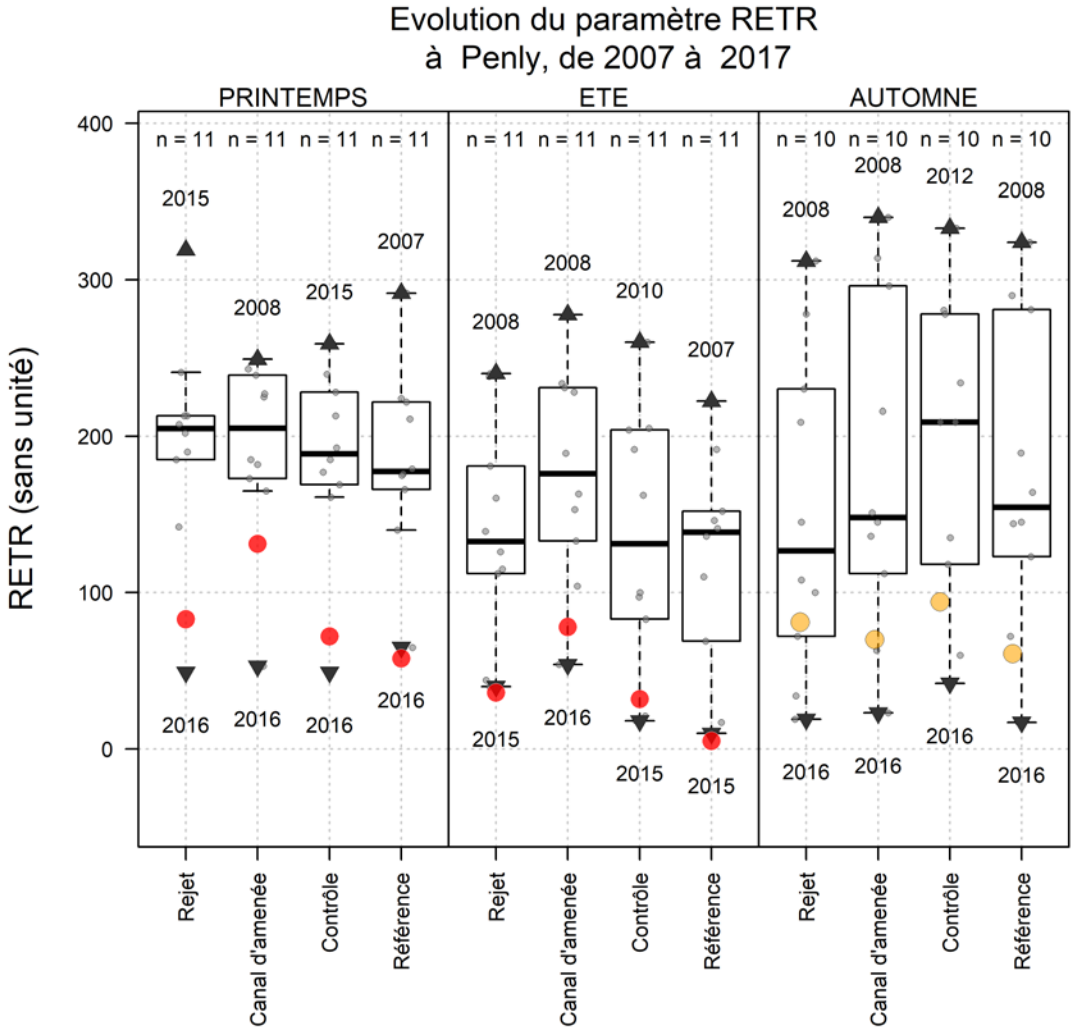
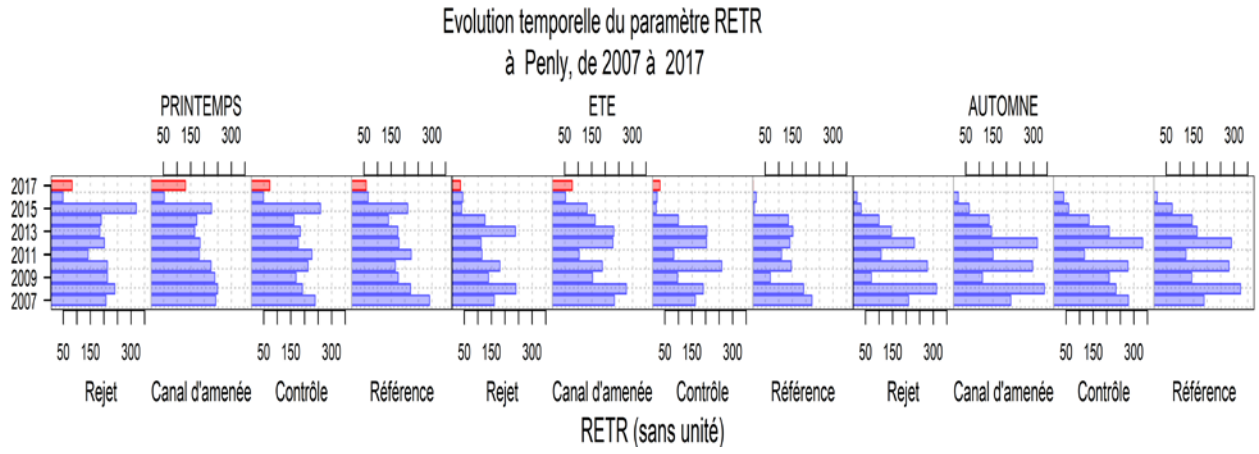


Figure 3-5: Mesures de Production Primaire (rETR) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE. La valeur d'automne en orange est la valeur obtenue lors de la campagne supplémentaire réalisée en décembre suite à la défaillance du PAM lors de la sortie de septembre 2017. (détail Boxplot voir Figure 3-1)



Suite à un problème d'appareillage, les mesures de rETR n'ont pu être effectuées lors de la campagne de septembre. Une sortie supplémentaire a donc été réalisée en décembre. Bien que disponibles et présentés en annexe (Tableau 3-10) ; les résultats obtenus deux mois après la campagne d'automne ne sont pas exploités dans ce rapport.

Sur le plan spatial, les valeurs observées au printemps et en été 2017 sont toutes inférieures à la médiane. La valeur mesurée sur le point *Canal* au printemps montre une activité légèrement plus forte (particularité perçue également par le paramètre chlorophylle *a* dont la concentration est légèrement supérieure sur le point *Canal*. Un gradient côte large est également observé.

Du point de vue historique, l'année 2016 avait été marquée par les niveaux records de faible activité de production primaire généralisée. Les activités mesurées en 2017 restent parmi les plus basses enregistrées depuis 2010, notamment en été (5 unités relatives sur le point *Référence* en été). Les valeurs obtenues sur le point *Référence* au printemps et sur les points *Rejet* et *Référence* en été sont les plus basses observées depuis le début du suivi de ce paramètre.

L'arrivée tardive de la production primaire peut-être corrélée avec l'apparition tardive de la chlorophylle *a* (Figure 3-5).

Tableau 3-6: probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour le paramètre rETR (Production Primaire).('W' : test de wilcoxon ; 't': test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

	PRINTEMPS		ETE		AUTOMNE	
STATIONS	Test	p_value	Test	p_value	Test	P_VALUE
CONTROLE/CANAL	T	0,33	T	**0,02**	/	/
CONTROLE/REFERENCE	W	0,71	W	0,31	/	/
CONTROLE/REJET	W	0,48	T	0,37	/	/
CANAL/REFERENCE	T	0,25	W	**<0,01**	/	/
CANAL/REJET	W	0,84	T	**0,01**	/	/
REFERENCE/REJET	W	0,48	W	0,13	/	/

Aucune différence significative n'est observée parmi les points au printemps. Le caractère « non significatif » associé à cette saison témoigne d'un environnement dont l'hétérogénéité naturelle masque une éventuelle variabilité spatiale imputable au fonctionnement du CNPE. Une différence significative est relevée entre le point *Canal* et les trois autres points de suivis en été.

3.3.2.2 Analyse in-situ de l'efficacité quantique maximale (Ymax)

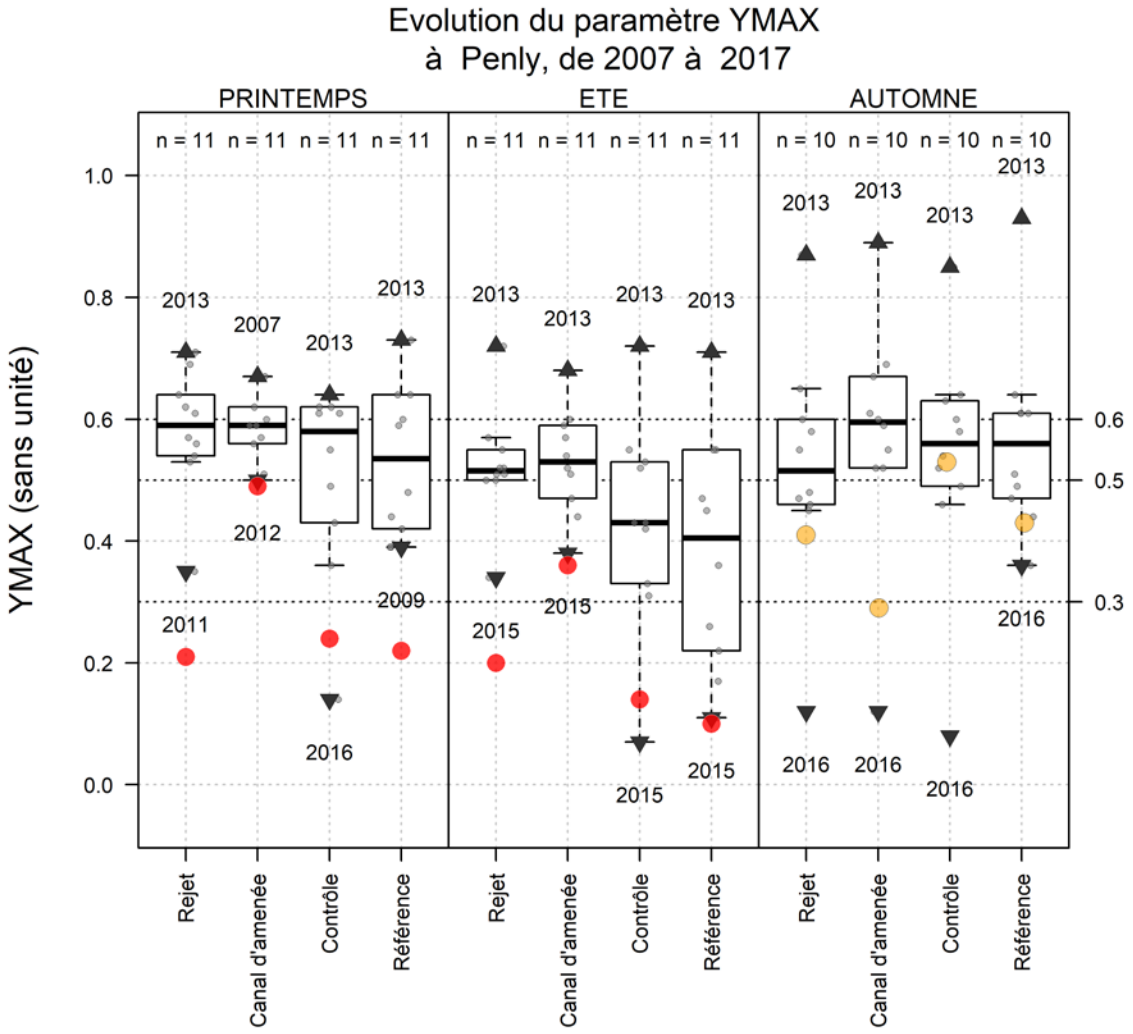
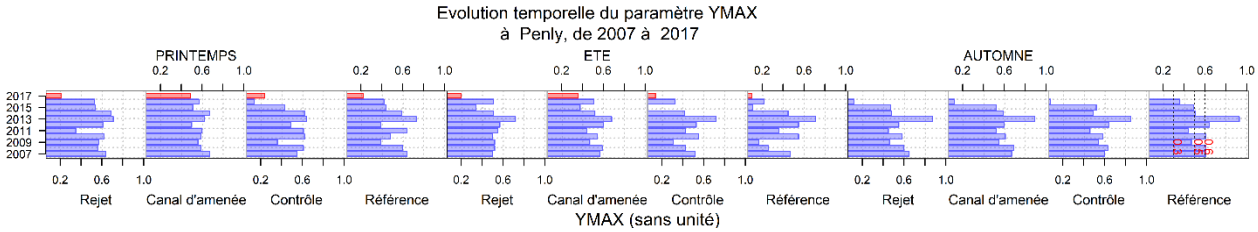


Figure 3-6: Mesures du paramètre Ymax (Etat physiologique du peuplement) réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE. (détail Boxplot voir Figure 3-1).



D'un point de vue spatial et saisonnier, l'état physiologique global du peuplement de phytoplancton (toutes tailles) se révèle plutôt mauvais au printemps et en été sur tous les points (valeurs proches de 0,2). Les communautés phytoplanctoniques sont par contre dans un meilleur état physiologique au point *Canal* (*i.e. Canal*). Il peut être envisagé que les conditions hydrologiques (faible profondeur, faible houle etc..) du point *Canal* étaient alors bénéfiques aux espèces phytoplanctoniques présentes au printemps et en été.

Comme pour les valeurs d'rETR et de chlorophylle *a*, un léger gradient côte large est observé.

D'un point de vue historique, que ce soit au printemps comme en été, les valeurs de Ymax observées sont parmi les plus basses relevées depuis 2010. Comme pour la valeur d'rETR les communautés phytoplanctoniques semblent en meilleur état physiologique sur le point *Canal* (*i.e. Canal*).

L'état global des communautés phytoplanctoniques apparaît plus faible en 2017 qu'en 2016 sur l'ensemble des points étudiés, à l'exception du point *Contrôle* au printemps.

Tableau 3-7: probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne pour le paramètre Ymax (Production Primaire).('W' : test de wilcoxon ; 't': test t de Student ; P-Value > 0,05, différence nonsignificative).

	PRINTEMPS		ETE		AUTOMNE	
STATIONS	Test	p_value	Test	p_value	Test	**P_VALUE**
CONTROLE/CANAL	W	0,09	T	**0,02**	/	/
CONTROLE/REFERENCE	T	0,55	T	0,06	/	/
CONTROLE/REJET	T	0,21	T	**0,01**	/	/
CANAL/REFERENCE	T	**0,04**	T	**0,01**	/	/
CANAL/REJET	W	0,82	T	0,38	/	/
REFERENCE/REJET	T	0,32	T	**0,01**	/	/

Un seul écart significatif est mis en évidence au printemps entre le point *Canal* et le point *Référence*. En été des différences apparaissent entre le point *Canal* et les points *Contrôle* et *Référence* et entre le point *Rejet* et les points *Contrôle* et *Référence* en été.

3.3.3 Populations phytoplanctoniques

3.3.3.1 Le microphytoplancton dans son ensemble

La première manière d'appréhender le microphytoplancton réside dans le dénombrement global des cellules qui le composent.
Les abondances microphytoplanctoniques de 2017 présentées en Figure 3-7 sont exprimées en échelle log du nombre de cellules par litre d'eau de mer.

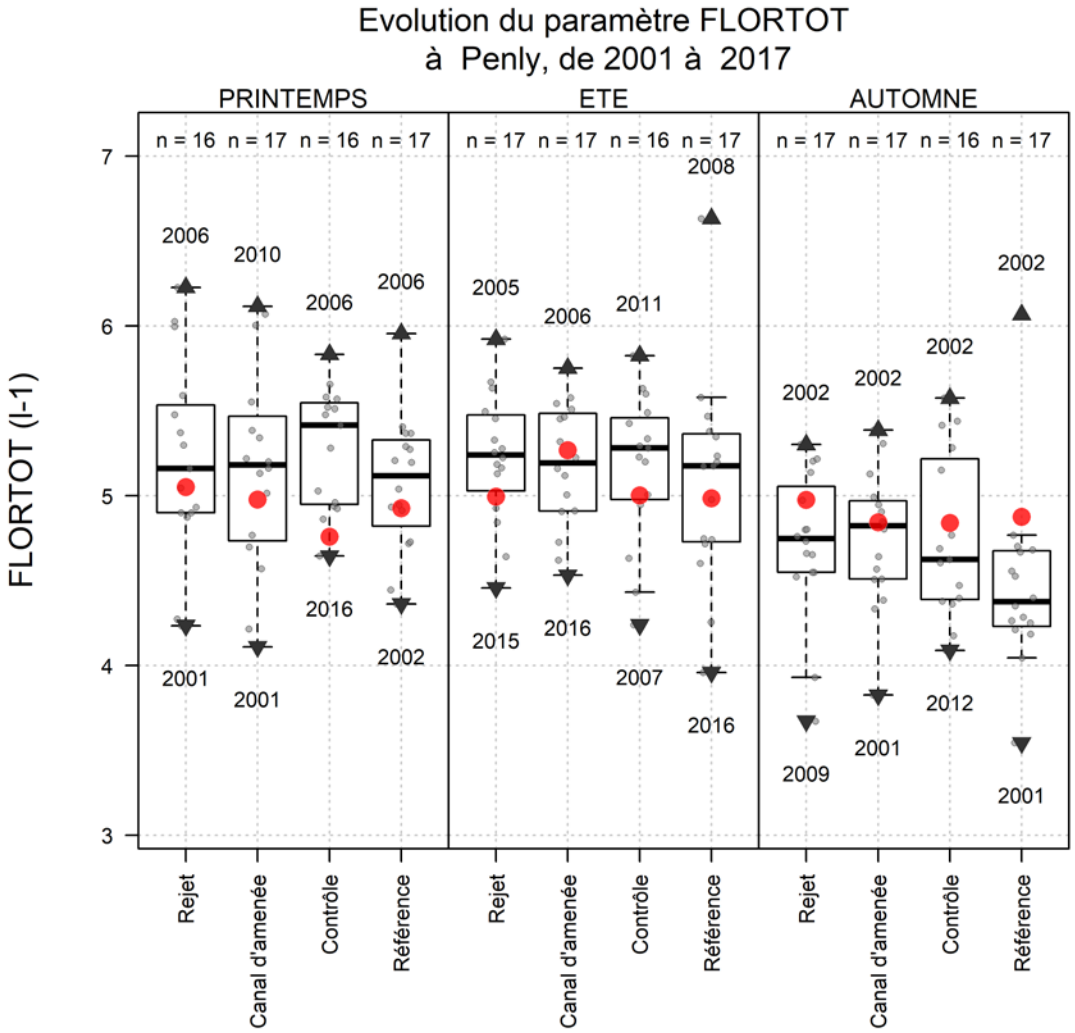
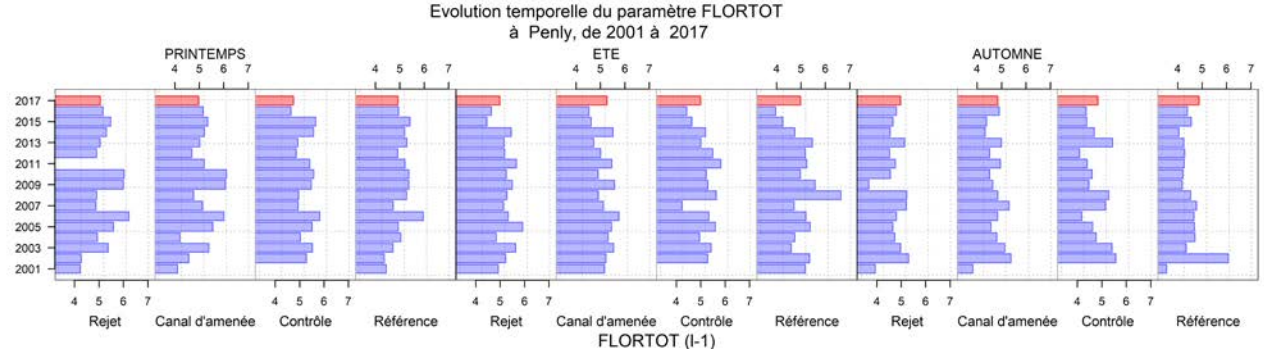


Figure 3-7: Mesures du paramètre flores totales réalisées aux 4 points *Référence, Contrôle, Rejet et Canal* au cours de l'année, mis en perspective de toutes les données observées depuis le début de leur acquisition dans le cadre de la surveillance écologique du CNPE. (détail Boxplot voir Figure 3-1).



D'un point de vue spatio-temporel, les abondances phytoplanctoniques mesurées ne varient pas énormément selon les points et les saisons. Un gradient côte large est observé, principalement en été 2017.

D'un point de vue interannuel, les abondances totales mesurées en 2017 sont comprises entre 71 800 et 199 700 cellules par litre d'eau de mer. Ces abondances ne présentent pas de caractère d'exception pour les quatre points suivis.

En 2017, les abondances de printemps sont inférieures à la médiane sur tous les points, de même que la concentration en chlorophylle *a*. Les nutriments mesurés au printemps sont quant à eux inférieurs à la médiane. Il est donc probable que l'échantillonnage de printemps ait été effectué avant le bloom printanier. Ceci est corrélé aux images satellites où le bloom printanier arrive cette année assez tardivement.

A l'inverse, les abondances de septembre sont supérieures à la médiane sur tous les points. Les silicates mesurés lors de la campagne d'automne sont inférieurs à la médiane et la valeur de chlorophylle *a* est également élevée. Il est donc probable que l'échantillonnage d'automne ai été effectué lors du bloom automnal.

3.3.3.2 Le peuplement dans son ensemble (par groupes/familles)

Le but de ce suivi n'est pas d'étudier l'évolution saisonnière de chaque population, mais de détecter, depuis la mise en service de la centrale, un éventuel déséquilibre dans les successions phytoplanctoniques. Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre par rapport à la population microphytoplanctonique totale. Certaines espèces ont été regroupées, car difficilement identifiables par microscopie optique. D'autres ont été identifiées au niveau du genre ou de la classe algale. La fraction microphytoplanctonique a été répartie en 4 grands groupes : Diatomées, Dinoflagellés, Euglénophycées et Silicoflagellés.

La succession des assemblages phytoplanctoniques, est gouvernée principalement par la variabilité saisonnière. La croissance cellulaire du phytoplancton peut être limitée par deux principaux types de facteurs, l'un physique l'autre nutritionnel. Les facteurs physiques telles que la lumière, la température sont essentiellement liés à la variabilité saisonnière. Les facteurs nutritionnels, s'ils sont indirectement saisonniers sont particulièrement liés aux apports de sels nutritifs par les rivières les eaux de ruissellement les eaux souterraines ou l'atmosphère (sels azotés, phosphates, silicates) qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

Dans les eaux tempérées françaises, les teneurs maximales en nutriments et notamment en silice, utilisée pour la structuration du frustule par les diatomées, sont atteintes en hiver. Le maximum phytoplanctonique est largement dominé par les diatomées durant le printemps, période d'augmentation de l'éclairement et de l'élévation de la température.

Les dinoflagellés, bien que minoritaires sont capables de développements rapides qui peuvent conduire à des perturbations majeures de l'écosystème.

Les plus fortes dominances de dinoflagellés sont en général observées en automne, au moment où (1) les nutriments ont été largement assimilés par les diatomées et (2) la masse d'eau est plus stable.

La Figure 3-8 présente l'évolution spatiale et temporelle de la dominance des diatomées et des dinoflagellés depuis 2001.

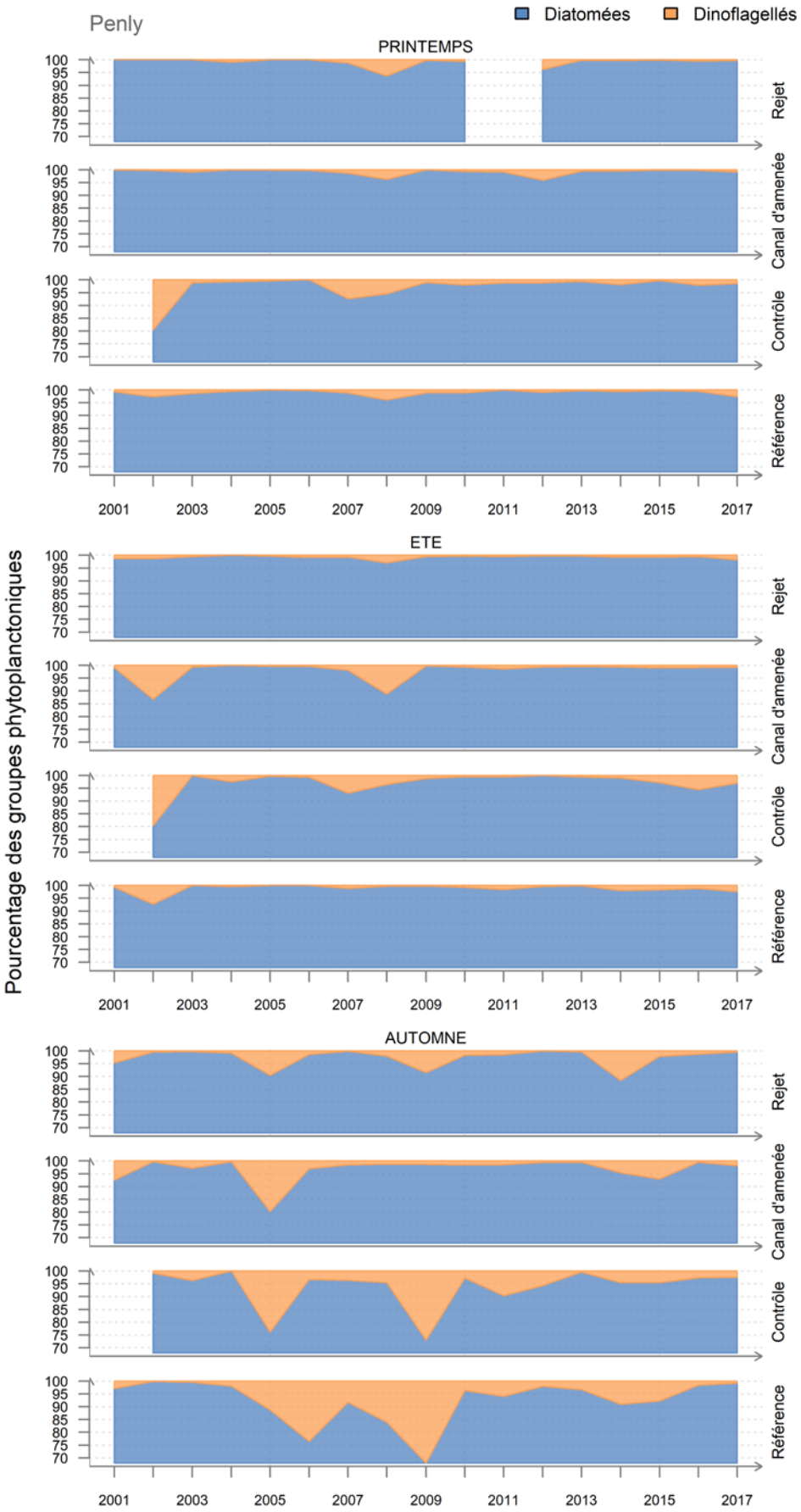


Figure 3-8: Répartition spatiale et temporelle entre diatomées et dinoflagellés depuis 2001.

En 2017 les diatomées représentent entre 97 % et 99% de la population microphytoplanctonique. Ces valeurs sont en accord avec les valeurs habituellement observées dans les zones côtières tempérées où les diatomées sont la classe phytoplanctonique la plus représentée.

L'abondance maximale des diatomées a été atteinte au printemps sur le point *Rejet* avec 99,73% de la population totale. Les diatomées étaient également encore bien présentes en automne où ils représentent jusqu'à 99.58% (soit 94 100 cellules par litres) de la population microphytoplanctonique. Les mesures de silicates sur ces deux saisons montrent que celui-ci, nécessaire à la croissance des diatomées, avait été bien consommé. Au printemps les concentrations de silicates étaient abondantes et les diatomées n'étaient pas encore très présentes dans le milieu.

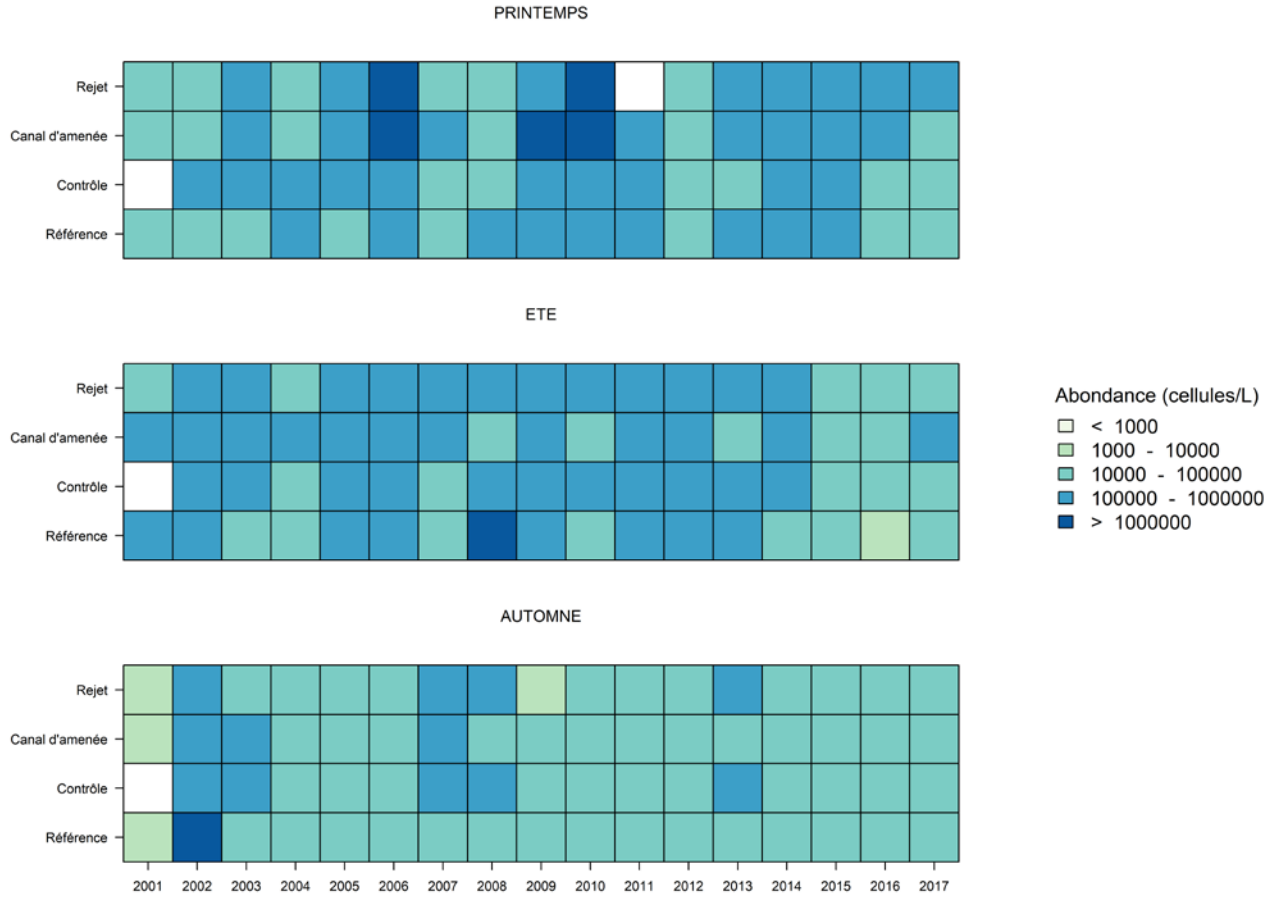


Figure 3-9: Evolution spatiale et temporelle de l'abondance des diatomées depuis 2001 (Le point "*Canal*" est situé dans le Canal d'amené).

Comme le démontre la Figure 3-9, les diatomées sont représentées sur tous les points et à toutes les saisons à des abondances importantes relativement importantes.

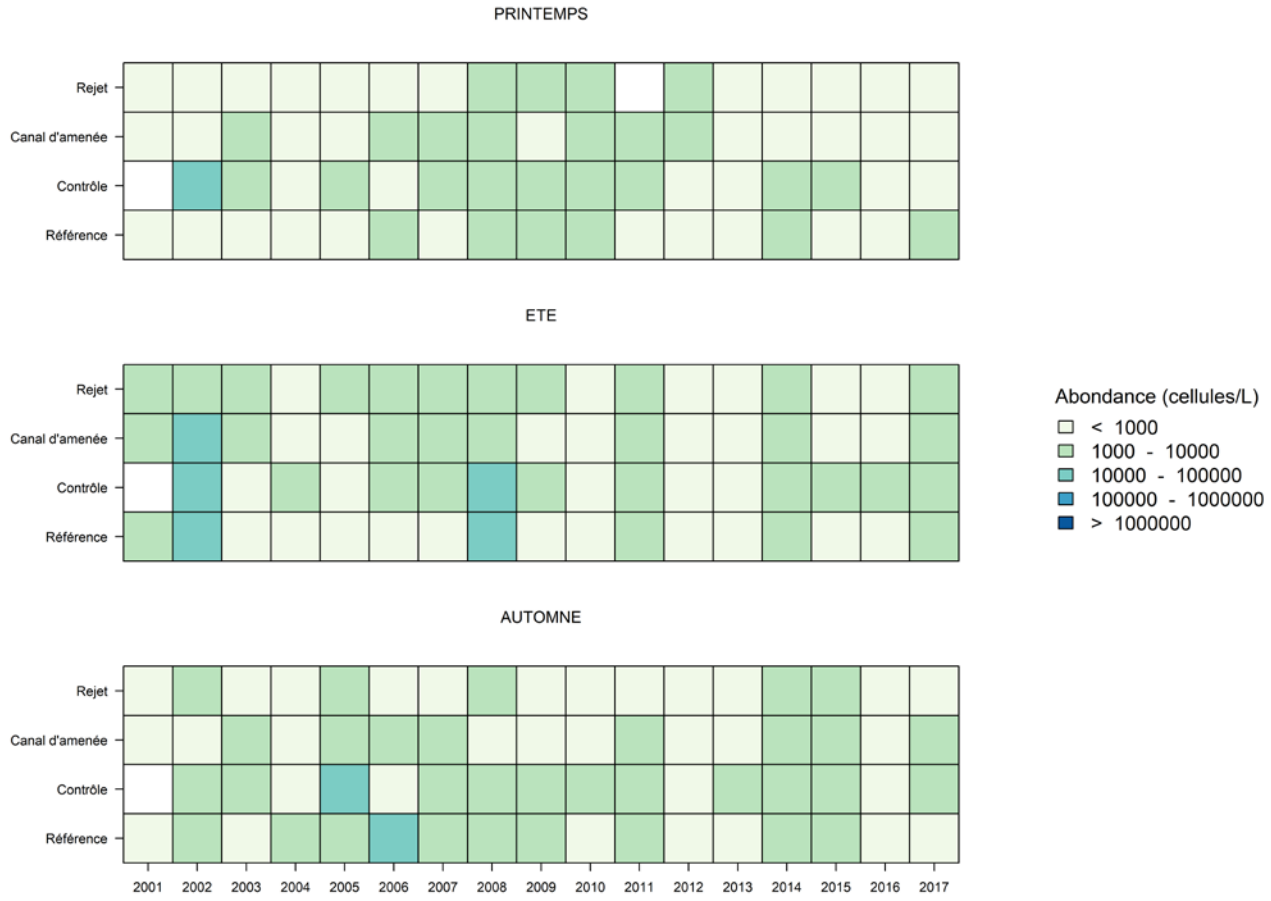


Figure 3-10: Evolution spatio-temporelle de l'abondance des dinoflagellés depuis 2001.

En 2017, la plus faible valeur de dispersion des dinoflagellés est observée au printemps sur le point *Canal*. Sur les quatre points échantillonnés, les dominances relevées de dinoflagellés sont entre 0,3% et 2,6% de la population phytoplanctonique totale.

Les tests statistiques réalisés sur les abondances phytoplanctoniques de 2017 sont présentés dans le Tableau 3-8.

Tableau 3-8: probabilité 'p-value' associée aux tests d'hypothèse de comparaison de moyenne sur les abondances phytoplanctoniques.('W' : test de Wilcoxon ; 't': test t de Student ; P-Value > 0,05, différence non significative).

	PRINTEMPS		ETE		AUTOMNE	
STATIONS	Test	p_value	Test	p_value	Test	**P_VALUE**
CONTROLE/CANAL	W	0,98	T	0,89	W	0,74
CONTROLE/REFERENCE	T	0,12	W	0,40	W	0,23
CONTROLE/REJET	W	0,60	T	0,56	W	0,86
CANAL/REFERENCE	W	0,28	W	0,24	W	**0,02**
CANAL/REJET	W	0,4	W	0,61	T	0,88
REFERENCE/REJET	W	**0,07**	W	0,26	W	**0,01**

En automne une différence significative est observée entre le point *Référence* et les points *Canal* et *Rejet*. La distance entre ces points suffit à elle seule à expliquer la différence quantitative de l'abondance microphytoplanctonique. En revanche aucune différence significative n'est observée entre les points au printemps et en été.

3.3.3.3 Les espèces structurantes

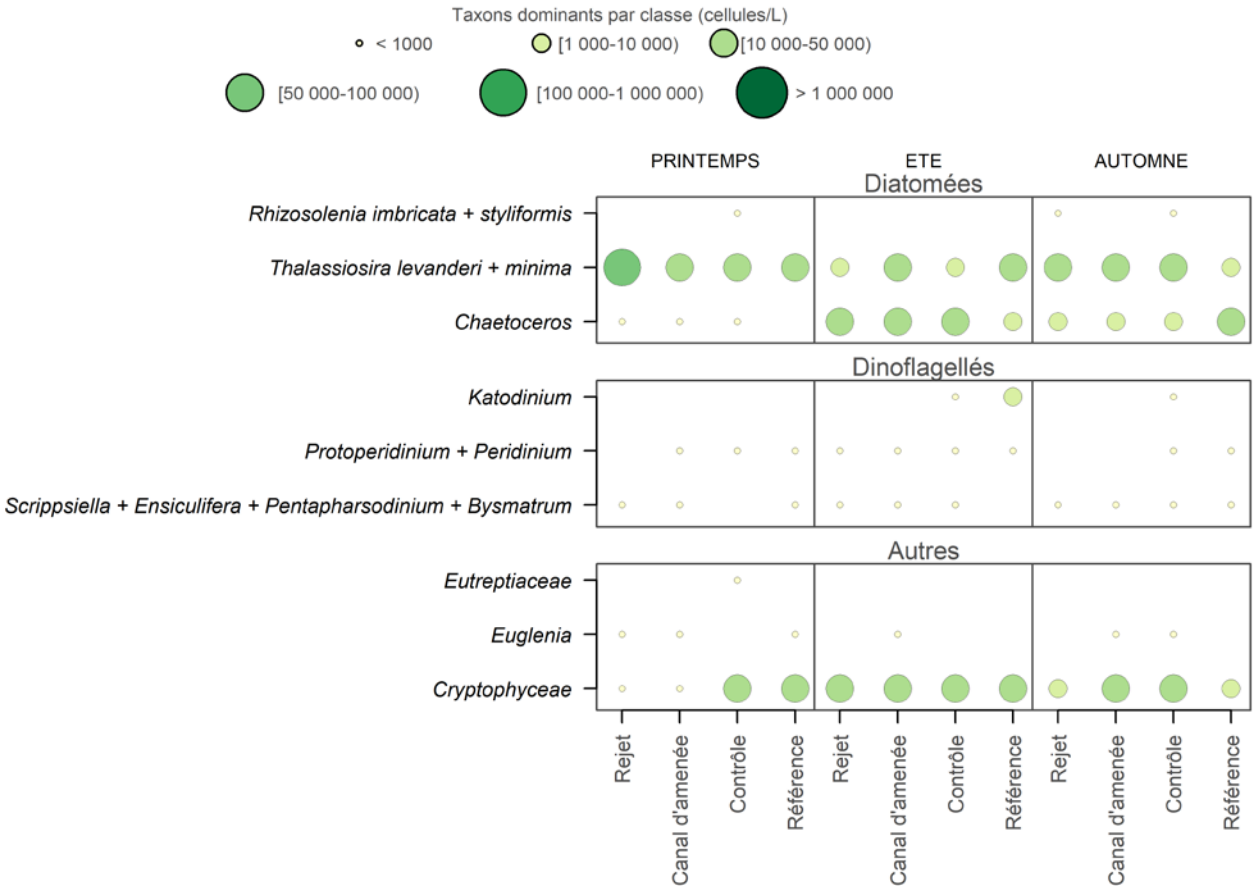


Figure 3-11: Taxons dominants par saison et par points sur le CNPE de Penly en 2017

Quelle que soit la saison, la diatomée la plus représentée en 2017 sur le CNPE de Penly est *Thalassiosira levenderii*. Cette diatomée appartient à la famille des *Thalassiosiraceae.* Elle représente plus de 50% de la population en diatomées au printemps. Les *Thalassiosiraceae* sont d'assez grosses cellules, généralement réunies en chaînes à l'aide d'un ou plusieurs filaments ou dans du mucilage.

Chaetoceros est également bien présent en été et en automne, où elle représente jusqu'à 40% des diatomées.

Katodinium, *Protoperidium* + *Peridinium* et le complexe *Scripsiella* sont les trois genres de diatomées représentés sur le CNPE de Penly. Ces 3 groupes sont couramment rencontrés dans les eaux normandes et leur présence ne présente pas de caractère d'exception.

Les cryptophyceae appartiennent au nanophytoplancton. Ils sont présents dès le printemps avec un maximum de 33 800 cellules par litre et restent présent le reste de l'année à des concentrations moindres.

3.3.4 Bilan des résultats obtenus aux points *Canal* et *Rejets*

Le calcul du bilan représente l'écart des valeurs du paramètre concerné observé entre les points *Rejets* et *Canal* (*i.e. Canal*). Ce calcul est réalisé afin d'estimer l'impact sur le phytoplancton au cours de son transit entre le *Canal* et le *Rejet*. Il est effectué au moyen de l'équation ci-dessous :

$$\frac{(Vr - Vp) \times 100}{Vr}$$

Où *Vr* et *Vp* représentent respectivement la valeur (chlorophylle, production primaire ou abondance microphytoplanctonique) observée au *Rejet* et au point *Canal (i.e. Canal).*

En utilisant les valeurs mesurées en 2017 pour les paramètres chlorophylle *a*, production primaire et abondance phytoplanctonique, les valeurs obtenues sont présentées dans le Tableau 3-9. Une valeur négative exprime un déficit au point *Rejet* par rapport au point *Canal (i.e. Canal).*

Tableau 3-9 : Déficits des trois paramètres étudiés entre les points *Canal* et *Rejet*

	Chlorophylle *a*	Production primaire potentielle	Microphytoplancton
PRINTEMPS	-88,4	-57,83	11,48
ETE	-39,81	-116,67	-78,3
AUTOMNE	29,12	NA	22,52

Toutes les valeurs d'été sont en déficit sur le point *Rejet* par rapport au point *Canal (i.e. Canal).* La chlorophylle *a* est en déficit en printemps et en été.

Ces différences peuvent s'expliquer par deux phénomènes, l'un à caractère spatial et l'autre temporel. Premièrement, les caractéristiques de la masse d'eau du *Rejet* peuvent résulter du mélange des eaux des points *Canal* et *Référence*. Deuxièmement, le temps de transit de l'eau de mer entre les points *Canal* et *Rejet* est de quelques heures, alors que les prélèvements sont faits à 30 minutes d'intervalle. Les valeurs ainsi obtenues peuvent donc aussi s'expliquer par la variabilité spatio-temporelle naturellement observée dans le milieu marin.

3.4 Conclusions

L'année 2017 apparaît comme une année assez marquée par de faibles valeurs de production primaire potentielle sur l'ensemble de la zone, et ceci au cours des différentes campagnes d'échantillonnage. Ceci traduit une activité photosynthétique peu intense des cellules phytoplanctoniques à proximité du CNPE de Penly. Cette faible activité peut être corrélée avec les abondances phytoplanctoniques et la chlorophylle *a* dont les valeurs sont inférieures à la médiane au printemps et en été.

Ces faibles valeurs peuvent en partie être expliquées par un début de saison tardif. Les concentrations en nutriments disponibles dans le milieu étant au printemps, supérieures à la moyenne laissent supposer que le bloom printanier n'était pas encore démarré lors de la campagne de mars.
Les débits des fleuves côtiers en mars, légèrement supérieurs à la moyenne et surtout supérieurs aux très faibles débits de janvier et février, sont à l'origine d'apports importants en éléments nutritifs (azote, silicate et phosphate) au cours du printemps sur la zone proche du CNPE de Penly (cf. chapitre 2, p.39).

À l'instar des années précédentes, l'année 2017 a été marquée par une large dominance des diatomées sur l'ensemble de la zone à proximité du CNPE de Penly, avec une évolution de la composition de la

communauté de diatomée de la côte vers le large, marquée par la dominance de *Thalassiosira levanderii*.

Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2017 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Penly. L'évolution dans le temps de ces paramètres semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

3.5 Annexe

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de surveillance pour l'année 2017 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les LQ sont définies dans les tableaux 3-2 et 3-4.

Tableau 3-10 : Récapitulatif des résultats de surveillance pour l'année 2017 à Paluel

Station	Campagne	Chlorophylle a (µg.L-1)	Phéopigments (µg.L-1)	Abondance totale phytoplanctonique (cellules L-1)	rETR*	Ymax*
Canal	PRINTEMPS	3,41	0,26	100200	131	0,49
Contrôle	PRINTEMPS	1,29	0,1	71800	72	0,24
Référence	PRINTEMPS	1,44	0,24	120300	58	0,22
Rejet	PRINTEMPS	1,81	0,46	113200	83	0,21
Canal	ETE	4,39	1,38	199700	78	0,36
Contrôle	ETE	1,63	0,19	115000	32	0,14
Référence	ETE	2,27	1,08	111200	5	0,1
Rejet	ETE	3,14	1,21	112000	36	0,2
Canal	AUTOMNE	2,75	0,43	80500	122	0,56
Contrôle	AUTOMNE	2,99	0,23	87600	102	0,47
Référence	AUTOMNE	1,48	0,09	77700	61	0,43
Rejet	AUTOMNE	3,88	0,43	103900	125	0,49

* Suite à un problème d'appareillage, les mesures de rETR n'ont pu être effectuées lors de la campagne de septembre. Une sortie supplémentaire a donc été effectuée en décembre. Les valeurs montrées correspondent aux résultats de la sortie supplémentaire effectuée en décembre. Bien que disponibles, les résultats obtenus deux mois après la campagne d'automne n'ont pas été pas exploités dans ce rapport.

Microbiologie :

Rédaction

Laure Lamort (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Prélèvements et Analyses :

Sylvaine Françoise (LERN)
Frank Maheux (LERN)
Olivier Pierre-Duplessix (LERN)
Benjamin Simon (LERN)
Emilie Rabiller (LERN)
Gaëlle Courtay (LERN)

Codes de programmation de traitements des données (R) :

Tania Hernandez-Farinas (LERN)
Michel Ropert (LERN)

Illustrations et statistiques :

Laure Lamort (LERN)
Tania Hernandez-Farinas (LERN)
Sylvaine Françoise (LERN)

Expertise thématique :

Dominique Hervio-Heath (LSEM)

4 Microbiologie

Un suivi de l'évolution du compartiment microbien a été mis en œuvre depuis 1987 sur le CNPE de Penly. Il repose sur le dénombrement des germes totaux et revivifiables et sur l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles potentiellement sensibles aux modifications du milieu, engendrées par le fonctionnement de la centrale. Les mesures ne concernent que les vibrions capables d'être cultivés à 37°C, ces bactéries marines pouvant présenter des caractères pathogènes pour l'homme.

Les vibrions halophiles sur le territoire français

Les vibrions halophiles sont des bactéries anaérobies facultatives, à Gram négatif, hôtes naturels du milieu marin et plus particulièrement des eaux côtières et estuariennes du monde entier. Parmi les 135 espèces de *Vibrio* recensées à ce jour dont 68 sont validées, seules quelques unes sont associées à des pathologies chez l'homme. Les 12 espèces aujourd'hui considérées comme pathogènes, sont réparties en deux groupes, les vibrions cholériques, responsables du choléra et appartenant aux sérogroupes O1 et O139 de l'espèce *Vibrio cholerae*, et les vibrions non cholériques appartenant aux sérogroupes non-O1 et non-O139 de l'espèce *V. cholerae* et à 11 autres espèces du genre *Vibrio*. La majorité des vibrioses humaines concerne principalement quatre espèces : *V. cholerae, V. parahaemolyticus, V. vulnificus* et *V. alginolyticus* (Quilici and Robert-Pillot 2011). Les autres espèces décrites comme pathogènes pour l'homme sont rarement isolées (*Vibrio fluvialis, Vibrio hollisae* et *V. mimicus*) ou elles ne sont isolées que très ponctuellement (*V. carchariae, V. cincinnatiensis, V. damsela*[12]*, V. furnissii* et *V. metschnikovii*).

Les infections à vibrions sont généralement de deux types, les infections intestinales (gastroentérites) et extra-intestinales (septicémie, infections cutanées, otites). Dans la majorité des cas, ces infections sont associées à un contact direct avec de l'eau de mer ou à la consommation de produits de la mer crus ou insuffisamment cuits. Elles surviennent pendant les mois les plus chauds de l'année, de mai à octobre, quand la température de l'eau de mer augmente et favorise la croissance des vibrions halophiles dans l'environnement littoral.

Parmi les vibrions non cholériques responsables des cas d'infections humaines identifiés en France entre 1995 et 2009, les espèces isolées étaient : *V. cholerae* (sérogroupes non-O1/non-O139 ; n=69); *V. alginolyticus* (n=25), *V. parahaemolyticus* (n=23) ; *V. vulnificus* (n=13) ; *V. fluvialis* (n=2) et *V. hollisae* (n=2). Tous les cas reportés se sont manifestés sous la forme de cas isolés. La notion de contact avec l'eau de mer, de consommation récente de produits de la mer, et/ou de voyage à l'étranger a été établie pour 90% d'entre eux (Quilici and Robert-Pillot, 2011).

En milieu marin, plusieurs facteurs écologiques influencent le cycle biologique des vibrions halophiles, parmi lesquels, la température, la salinité, la concentration en matière organique et en nutriments, et la présence du plancton utilisé comme support. La présence des vibrions cultivables à 37°C dans le milieu naturel est fortement corrélée à la température. Cette relation est largement décrite dans la littérature pour les pathogènes humains mais également pour les vibrions totaux, et ceci pour des analyses basées à la fois sur les méthodes de quantification culturales ou non culturales (Deter *et al.* 2010b; Oberbeckmann *et al.* 2010). La température de

[12] Suite à une modification de la nomenclature, l'espèce *Vibrio damsela* est désormais appelée *Photobacterium damselae* (Rivas *et al*., 2013) - Rivas, A.G., Lemos, M.L. & Osorio, C.R. 2013. *Photobacterium damselae* susp. *Damselae*, a bacterium pathogenic for marine animals and humans. *Front. Microbiol*. 4, 283p.

l'eau de mer contribue ainsi à la saisonnalité des apparitions de vibrions non cholériques. Une relation positive entre la chlorophylle *a* et les vibrions a également été mise en évidence sur les côtes françaises (Deter *et al.* 2010).

4.1 Matériels et méthodes

4.1.1 Prélèvements

Conformément à la stratégie mise en place pour le site de Penly, les travaux de surveillance ont été réalisés autour de la pleine mer et par coefficients de mortes-eaux les 23 mars, 14 juin et 27 septembre 2017. Les prélèvements sont réalisés en même temps que l'hydrologie, réalisée à bord du *N/O DELPHY*. Les échantillons d'eau ont été prélevés au moyen de flacons stériles (2×1L dans des flacons stériles contenant 20 mg de thiosulfate de sodium pour la recherche des vibrions halophiles), puis maintenus au froid à l'aide de blocs eutectiques (température comprise entre 5°C et 10°C) pendant leur transport jusqu'au laboratoire pour analyse.

Les points échantillonnés sont les suivants :

- *Canal (*situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale il préfigure l'eau pompée en entrée du circuit de refroidissement dans le milieu.*)*,
- *Rejet* (situé dans les turbulences des rejets : les prélèvements sont réalisés sur le point présentant la plus grande différence de température avec le point du large (masse d'eau non impactée),
- *Contrôle* (situé au large du rejet, en limite d'influence de la tâche thermique),
- *Référence* (situé au large du point *rejet,* considéré comme non influencé par le rejet du CNPE).

La stratégie d'échantillonnage mise en œuvre cette année est présentée dans le Tableau 4-1.

Tableau 4-1: Stratégie d'échantillonnage du compartiment microbiologie en 2017 à chaque saison (printemps, été, automne)

Stations	Niveau D'échantillonnage	Germes totaux	Germes revivifiables	Vibrions halophiles
Canal	**Surface (0-1m)**	**2 × 250 ml**	**2 × 250 ml**	**2 × 1000 ml**
Rejet	**Surface (0-1m)**	**2 × 250 ml**	**2 × 250 ml**	**2 × 1000 ml**
Contrôle	**Surface (0-1m)**	**2 × 250 ml**	**2 × 250 ml**	**2 × 1000 ml**
Référence	**Surface (0-1m)**	**2 × 250 ml**	**2 × 250 ml**	**2 × 1000 ml**

4.1.2 Analyses microbiologiques

4.1.2.1 Dénombrement des germes totaux en épifluorescence

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- stabilisation de l'échantillon au moment du prélèvement par du formol dépoussiéré afin de limiter la multiplication des bactéries,
- filtration sur membrane en polycarbonate 0,22 μm teintée avec de l'Irgalan black (Millipore, GTBP04700). Les volumes filtrés sont de 1 mL + 10 mL d'eau stérile

dépoussiérée. Suivant le résultat obtenu, un nouvel essai est réalisé avec 0,5 mL ou 2 mL.

- coloration avec une solution d'acridine orange (1/30 000e) tamponnée à pH 7,4 stérilisée par filtration à 0,22 µm,
- détermination par épi-fluorescence.

Toutes les bactéries fixées mises en évidence par coloration sont dénombrées (les bactéries non *vivantes* apparaissent colorées en vert).

4.1.2.2 Dénombrement des germes aérobies revivifiables sur milieu de Zobell.

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- étalement au râteau sur milieu de Zobell (0,1 mL d'échantillon est déposé dans 5 boîtes soit un résultat dans 0,5 mL. Celui-ci est multiplié par 2 pour avoir un résultat dans 1 mL),
- dénombrement après incubation à 22°C ± 2°C pendant 9 à 10 jours.
- Les teneurs en germes revivifiables sont exprimées en n/mL, n correspondant au nombre de germes revivifiables.

4.1.2.3 Identification et dénombrement des vibrions halophiles (méthode EDF)

Jusqu'en 2003, l'identification et le dénombrement des vibrions halophiles étaient réalisés selon une méthode interne au Laboratoire Régional de Rouen. En 2004 et 2005, cette méthode a été doublée d'une nouvelle méthode préconisée par EDF et mise au point en collaboration avec l'Institut Pasteur de Lille. Finalement, à partir de 2006, la méthode ancienne est abandonnée au profit de celle préconisée par EDF. Cette nouvelle méthode devient alors la méthode de référence. Elle se généralise à l'ensemble des centrales nucléaires de bord de mer et doit ainsi permettre une comparaison entre les différents sites (Procédure Technique DRD/P77/Vib[13] – 18/06/2007).

Le protocole analytique utilisé est le suivant :

- Filtration de 1000 mL à 10 mL sur membrane en acétate de cellulose de porosité 0,45 µm,
- Dépôt du filtre sur le milieu TCBS (Thiosulfate, Citrate, Bile et Saccharose) et incubation à 37 ± 1°C pendant 18 à 24 h,
- Lecture des boîtes et repérage des colonies caractéristiques. Dénombrement des colonies par morphotype,
- Incubation 24 h à 22°C ± 2° C afin d'accentuer la différentiation des colonies et de permettre le développement de certaines colonies stressées.
- Nouvelle lecture des boîtes,
- Repiquage et isolement sur gélose TCBS à 36 ± 2°C pendant 24 h pour chaque type de colonie identifié lors des premières et secondes lectures.

[13] Procédure technique DRD/P77/Vib (révision le 18/06/2007 - Touron A. et R. Delesmont). Recherche et dénombrement de *Vibrio* sp. et de dix espèces de *Vibrio*, dans les eaux marines et estuariennes.

- Repiquage des colonies en milieu Zobell et incubation à 36 ± 2°C pendant 24 h,
- Identification et recherche de pathogènes : coloration de Gram, test oxydase, galerie Api 20E. Si suspicion de V. cholerae : test d'halophilie par galerie en NaCl 0 à 10% (0, 3, 6, 8 et 10%) et test d'agglutination aux anticorps anti-O1 et anti-O139. Les souches V. parahaemolyticus, V. vulnificus et V. cholerae dont le pourcentage d'identification est supérieur à 90% (API 20E) sont expédiées au Laboratoire Santé, Environnement et Microbiologie (LSEM, Ifremer Brest) pour confirmation moléculaire d'identification (qPCR).

Les teneurs de vibrions halophiles, en Unité Formant Colonie par litre (UFC/L), sont calculées selon la formule :

[Vibrio/L] en UFC/L = **N** x **1000** x 1/**V** x 1/**d**.

N : nombre de colonies identifiées comme étant typiques des colonies de *Vibrio* sur TCBS.
1000 : le litre de départ, en mL.
V : volume filtré, en mL.
d : dilution effectuée si nécessaire avant filtration, sur les eaux présumées fortement chargées en *Vibrio* (1 mL dilué au dixième pour filtrer 10 mL).

4.1.3 Analyses statistiques

Un traitement statistique a été réalisé pour les germes revivifiables (1992-2017), pour les germes totaux et pour les vibrions halophiles (2004-2017). Il permet de comparer les données enregistrées aux points *Référence*, *Rejet*, *Contrôle* et *Canal* et ainsi de mettre en évidence d'éventuelles différences entre chacun de ces points à long terme. Pour cela, des tests de comparaisons de moyennes pour données appariées ont été utilisés. Pour chaque paramètre, un test de normalité (Shapiro-Wilk) a été réalisé au préalable. Lorsque la distribution est normale, c'est le test T de Student pour données appariées qui est utilisé. Dans le cas contraire (distribution non normale), la comparaison des données est réalisée à l'aide du test de Wilcoxon pour données appariées.

Ces tests permettent de déterminer une valeur de probabilité associée *p-value*. Si la *p-value* est inférieure à 0,05 ; il existe une différence significative entre les deux séries de données. A l'inverse, si la *p-value* est supérieure à 0,05 nous ne pouvons pas conclure à une différence significative au seuil de 95 %.

4.2 Récapitulatif des résultats des mesures microbiologiques pour l'année 2017

Les résultats acquis au cours des trois campagnes sur le site de Penly pour l'année 2017 sont présentés dans le Tableau 4-2.

Tableau 4-2 : Récapitulatif des résultats de microbiologie pour 2017 dans les eaux de Penly. Concernant les vibrions halophiles, seuls les dénombrements des souches présentant un pourcentage d'identification > 90% sont pris en compte pour la suite des exploitations des résultats

			Canal	*Rejet*	*Référence*	*Contrôle*
23 Mars	*Germes totaux (germes/mL)*		1,3 ×10^6	1,2×10^6	6.5×10^5	9×10^5
	Germes revivifiables (germes/mL)		434	212	152	158
	Vibrions	*V. halophiles identifiés (% ID >90 %)*	Absence	Absence	1 Va	Absence
		Vibrions (UFC/L)	0	0	1	0
14 Juin	*Germes totaux (germes/mL)*		2,2×10^6	1,6×10^6	3×10^6	1,1×10^6
	Germes revivifiables (germes/mL)		660	570	140	170
	Vibrions	*V. halophiles identifiés (% ID >90 %) (UFC/L)*	25 Va + 2 Vv***	6 Va	22 Va	1 Va
		V. Totaux (UFC/L)	27	6	22	1
27 Septembre	*Germes totaux (germes/mL)*		2,1×10^6	1,6×10^6	1,3×10^6	1,8×10^6
	Germes revivifiables (germes/mL)		890	1200	660	1100
	Vibrions	*V. halophiles identifiés (% ID >90 %) (UFC/L)*	90Vv***	8Va + 79Vv***	6 Va	10 Va
		Vibrions (UFC/L)	90	87	6	10

Va = *Vibrio alginolyticus* ; **Vf** = *vibrio fluvialis* ; **Vv** = *Vibrio vulnificus*; **Vp**= *Vibrio parahaemolyticus* ; **Vc**= *Vibrio cholerae. Vibrions non identifiés : identification < 90% ;*
** souches en attente de confirmation ; ** confirmation de l'identification de la souche en PCR : *** non confirmées en PCR*

Concernant les vibrions halophiles, seules sont prises en compte les souches présentant un pourcentage d'identification supérieur à 90% par la galerie API 20^E (*i.e.* %ID > 90%), c'est à dire présentant des degrés d'identification indiquant une bonne (ID>=90% et T>=0,25), très bonne (ID >=99% et T>=0,50) et/ou excellente identification (ID >=99,9% et T>=0,75). Si plusieurs dilutions ont été réalisées, le nombre de vibrions halophiles par réplicat est calculé comme la somme des valeurs observées pour chaque niveau de dilution.

4.3 Résultats du dénombrement des germes totaux

4.3.1 Variations spatiales et saisonnières des germes totaux

La Figure 4-1 présente l'évolution des abondances en germes totaux dénombrés en 2017.

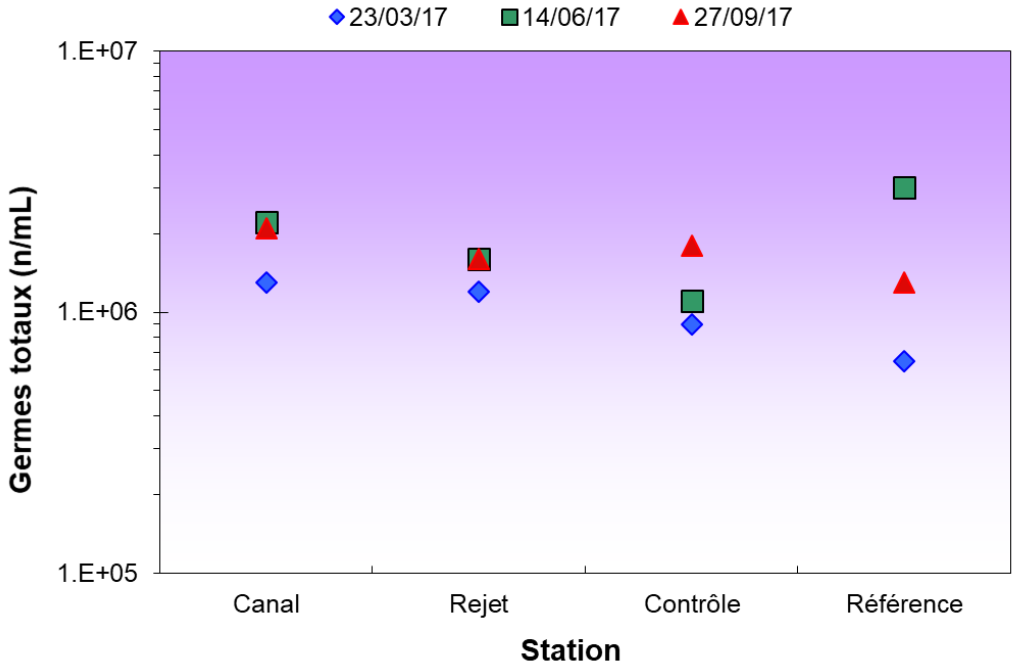


Figure 4-1 : Évolution des quantités de germes totaux par mL dénombrés par épi fluorescence en 2017 (Echelle log (10)).

En 2017, peu de variations sont observées que ce soit au cours de la saison comme entre les différentes stations. La variabilité saisonnière observée sur le point *Référence* est la plus élevée. A contrario, les 3 points de suivi situés en face du CNPE (*Canal, Rejet, Contrôle*) témoignent d'un léger gradient côte large au printemps et en été. Il faut cependant garder à l'esprit que ces différences sont faibles (inférieures à une unité logarithmique) et donc peu significative du point de vue écologique.

4.3.2 Variations interannuelles des germes totaux

La Figure 4-2 présente les variations du nombre de germes totaux depuis 1989. Les abondances de germes totaux en 2017 sont dans la gamme des valeurs habituellement observées sur la zone de Penly depuis 2009. En 2008, un changement du laboratoire en charge des analyses s'est traduit par une rupture brutale dans la série chronologique. Sans présager de l'origine de ces différences et pour éviter d'intégrer dans les analyses des résultats trop divergents, les synthèses à suivre se limitent aux 10 dernières années (2008-2017).

La Figure 4-3 présente sous forme de *Boxplot* la distribution du nombre de germes totaux sur la période 2008-2017. Entre le printemps et l'été 2017, les valeurs observées sont comprises dans les gammes de variabilité habituelles (proche de la médiane). Seul le point *Référence* au cours de l'été se détache nettement avec une valeur jamais atteinte sur ce point depuis 2008. Au cours de la campagne d'automne tous les points se distinguent avec des niveaux de germes parmi les 20% d'observations les plus fortes de la série. C'est un phénomène qui touche toutes les stations et qui ne peut donc pas être imputé au fonctionnement du CNPE.

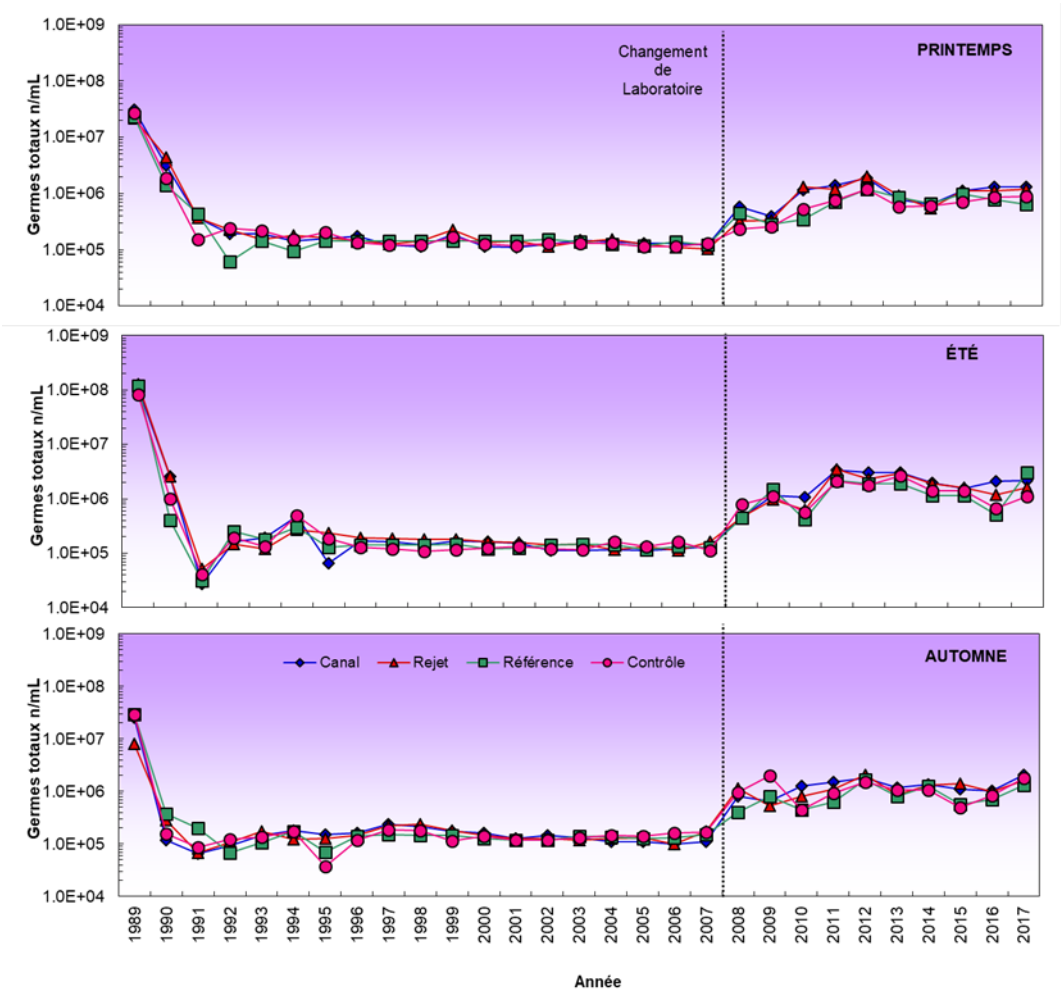


Figure 4-2 : Évolution des quantités de germes totaux depuis 1989 (Echelle log (10)).

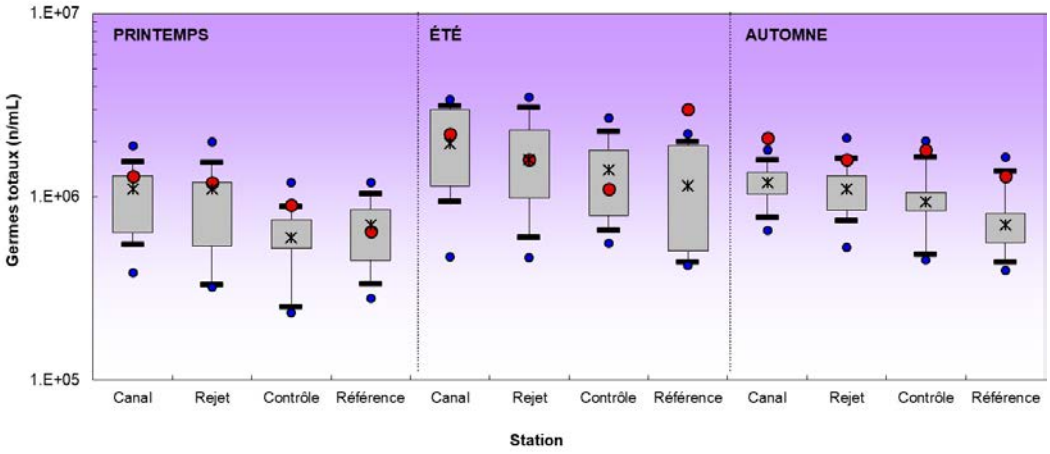


Figure 4-3 : Distributions des quantités de germes totaux (nombre par mL) depuis 2008 (i.e. année de changement de laboratoire d'analyse). Le point central représente la médiane (étoile) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (⊥). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017 (●). Echelle log (10).

4.3.3 Approche statistique

Le Tableau 4-3 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur les germes totaux dénombrés par épi-fluorescence depuis 2008..

Tableau 4-3 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les germes totaux (Test *de Wilcoxon, n=10)*.

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal/Rejet	0,72	0,73	0,39
Canal/Référence	**0,01**	0,18	0,05
Canal/Contrôle	**< 0,01**	**0,01**	0,18
Rejet/Référence	0,07	**0,01**	**0,04**
Rejet/Contrôle	**0,01**	**0,01**	0,25
Référence/Contrôle	0,74	0,85	0,22

***p-value* <0,05 = différence significative** ; *p-value* >0,05 = différence non significative

Les différences significatives qui apparaissent concernent systématiquement des différences entre d'un côté, les points *Référence* ou *Contrôle* (situés au large), et de l'autre les points *Rejet* ou *Canal* (situés plus à la côte). Ces différences traduisent un gradient de la côte vers le large.

Par contre, aucune différence n'apparaît entre le point *Rejet* et *Canal* ce qui tendrait à illustrer qu'aucun effet du fonctionnement du CNPE n'est perceptible sur ce paramètre.

4.4 Germes revivifiables sur milieu de Zobell

4.4.1 Variations spatiales et saisonnières des germes revivifiables

En 2017 (Figure 4-4), le plus grand nombre de germes revivifiables observés l'a été au cours de la campagne d'automne sur tous les points (traduisant une tendance globale excluant un effet du CNPE).

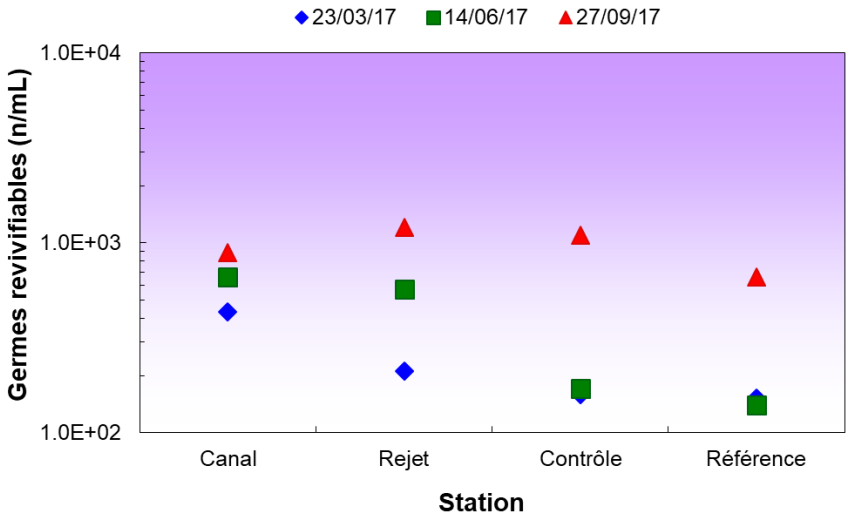


Figure 4-4 : Abondances de germes revivifiables par mL (n/mL) dénombrés sur milieu de Zobell.

Globalement au printemps comme en été, les abondances enregistrées sur tous les points ne dépassent pas 660 germes/mL et varient peu d'une période à l'autre. La plus forte variabilité saisonnière est enregistrée au *Rejet*.

4.4.2 Variations inter-annuelles des germes revivifiables

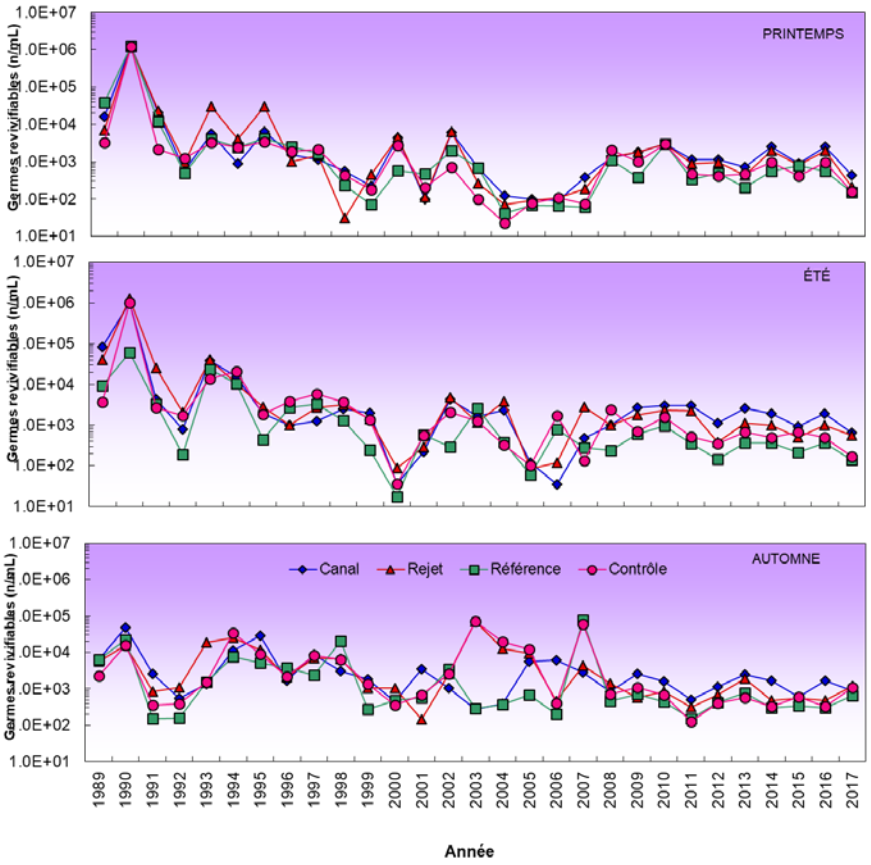


Figure 4-5 : Variations de l'abondance en germes revivifiables (n/mL) depuis 1987

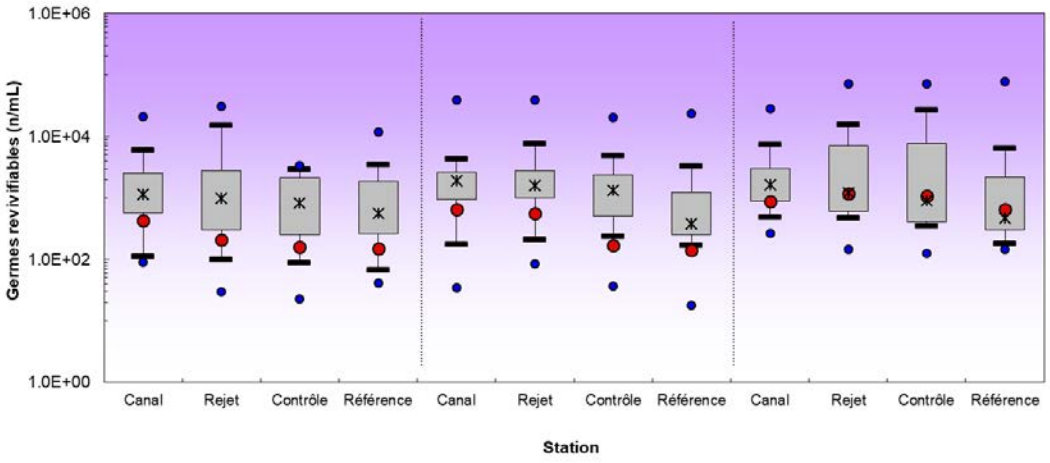


Figure 4-6 : Germes revivifiables (nombre par mL) dénombrés depuis 1987. Le point central représente la médiane (□); la boîte englobe 50 % des valeurs (▯) ; les moustaches, 80 % des valeurs (⊥). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017 (n = 30 pour chaque point et chaque saison). Echelle en log.

Les abondances observées en 2017 sont stables et dans la gamme de variabilité obervée au cours des années précédentes. On note toutefois au printemps et en été des abondances globalement en baisse alors que l'automne apparait très similaire aux années précédentes. (cf Figure 4-5)

La Figure 4-6 présente la distribution des abondances en germes revivifiables sous forme de *Boxplot* sur la période 1987-2017. Globalement l'année 2017 apparaît comme une année où les abondances de germes revivifiables sont faibles. L'automne qui se distinguait par des niveaux sensiblement plus élevés se situe en 2017 dans la médiane de l'historique.

4.4.3 Approche statistique

Le Tableau 4-4 présente les résultats des tests statistiques réalisés sur l'abondance des germes revivifiables enregistrée aux différents points depuis 1991.

Tableau 4-4 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les germes revivifiables sur milieu de Zobell (n=27)

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal/Rejet	0,72	0,78	0,98
Canal/Référence	**0,03**	< **0,01**	**0,02**
Canal/Contrôle	**0,01**	0,20	0,62
Rejet/Référence	0,06	< **0,01**	0,08
Rejet/Contrôle	**0,02**	0,1	0,9
Référence/Contrôle	0,53	**0,02**	0,17

Les différences significatives qui apparaissent concernent d'un côté, les points *Référence* ou *Contrôle* (situés au large), et de l'autre les points *Rejet* ou *Canal* (situés plus à la côte). Ces différences traduisent un gradient de la côte vers le large. A noter que l'été est propice à voir une hétérogénéité apparaître au large entre les points *Contrôle* et *Référence*.

Par contre, aucune différence n'apparaît entre le point *Rejet* et *Canal*, quelle que soit la saison, ce qui tendrait à illustrer qu'aucun effet du fonctionnement du CNPE n'est perceptible sur ce paramètre.

4.5 Résultats sur le dénombrement et l'identification des vibrions halophiles

4.5.1 Dénombrement des vibrions halophiles

Suite à la mise en place de la méthode préconisée par EDF sur l'ensemble des centrales du bord de mer, des dénombrements viennent compléter les identifications de vibrions halophiles. Ces dénombrements sont ceux de vibrions cultivables à 37°C et dont l'identification par galerie API 20^{E} donne un pourcentage d'identification supérieur ou égal à 90%. C'est donc un dénombrement partiel.
La Figure 4-7 présente l'évolution des quantités de vibrions halophiles dénombrés en 2017.

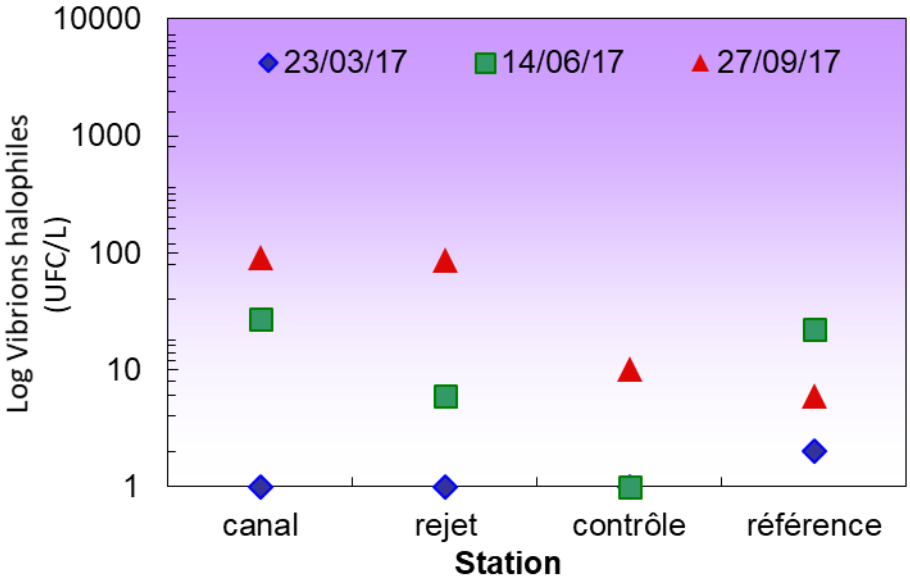


Figure 4-7 : Dénombrement des vibrions halophiles totaux en 2017.

La dimension saisonnière de la présence de vibrions halophiles est clairement marquée. Les valeurs les plus fortes s'observent en automne. Un gradient décroissant de la côte vers le large caractérise les eaux de proximité du CNPE (le point *Référence* étant éloigné de plusieurs milles marins vers le sud-ouest)

L'espèce *V. alginolyticus* a été très majoritairement identifiée par la méthode biochimique en 2017. On le détecte sur l'ensemble des 3 points à toutes les saisons. Seul *Vibrio vulnificus* est identifié par la méthode biochimique, en automne aux points *Canal* et *Rejet*. Dans les deux cas, l'identification de *V. vulnificus* n'a pas été confirmée par la méthode moléculaire (PCR).

4.5.2 Approche statistique

Les dénombrements de vibrions halophiles sont réalisés sur les échantillons des eaux proches de la centrale de Penly depuis 2004 selon la méthode EDF. Les résultats de l'étude statistique sont présentés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

Tableau 4-5 : Probabilité associée p des tests statistiques pour les vibrions halophiles (n=14 ; Test de Wilcoxon).

Comparaison	Printemps	Été	Automne
Canal/Rejet	0,1	0,78	0,29
Canal/Référence	0,44	**0,02**	**0,04**
Canal/Contrôle	0,06	**< 0,01**	0,58
Rejet/Référence	0,67	**0,01**	0,08
Rejet/Contrôle	1,00	**< 0,01**	0,62
Référence/Contrôle	0,41	0,67	0,14

Les résultats témoignent d'un gradient côte large perceptible l'été sur toute la zone et plus limité à l'automne dans la zone du CNPE. L'absence différences entre le point *Rejet* et *Canal*, quel que soit la saison, illustre qu'aucun effet du fonctionnement du CNPE n'est perceptible sur ce paramètre.

4.5.3 Identification de vibrions halophiles

Depuis 2006, seule la méthode de détermination EDF est utilisée (Procédure Technique DRD/P77/Vib). Néanmoins, les résultats obtenus avec l'ancienne méthode, propre au

laboratoire de Rouen, ont permis d'identifier les chroniques d'apparition des différentes espèces de vibrions halophiles sur le site de Penly depuis 1992.

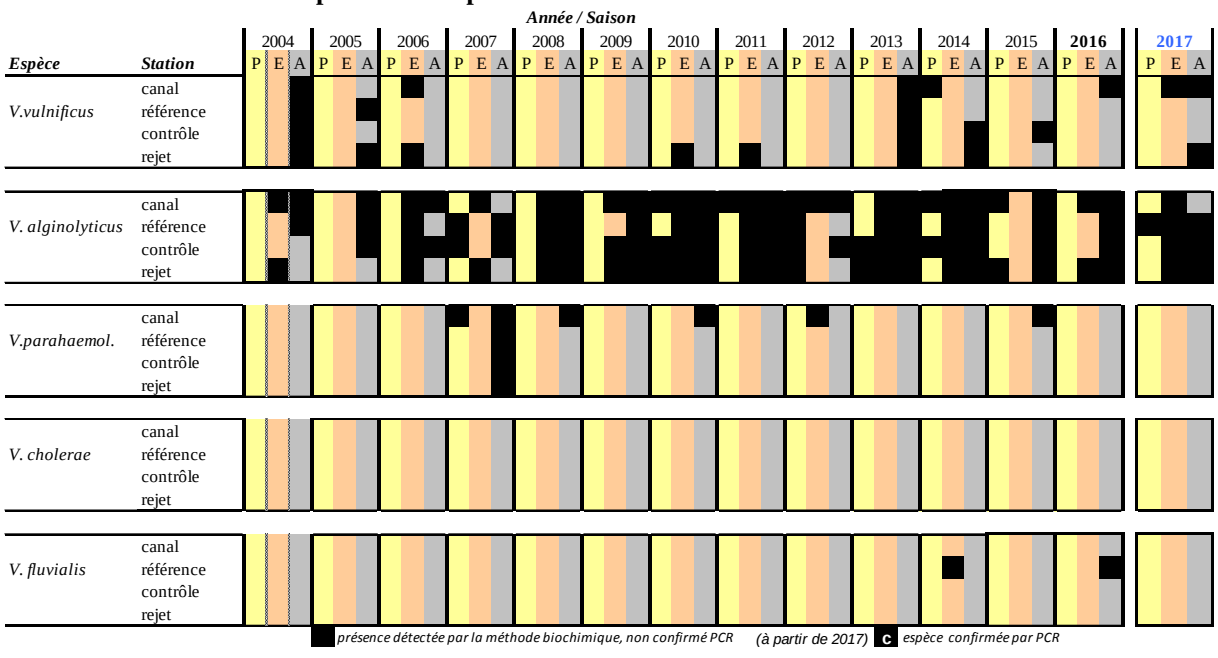
Cette série met en évidence une période (1995-1998) durant laquelle quasiment aucune espèce de vibrions halophiles n'a été détectée. Ceci semble peu probable et souligne les limites de l'ancienne méthode, posant le problème de sa fiabilité. La comparaison des deux méthodes entre 2004 et 2005, indique que, malgré quelques différences dues aux protocoles et milieux de culture utilisés, la méthode EDF détecte la présence des mêmes espèces de vibrions halophiles.

Les résultats obtenus avec la méthode EDF depuis 2004 sont présentés dans le Tableau 4-6. Ils forment le début d'une série pluriannuelle qui sera d'ici quelques années, assez représentative des fréquences d'apparition d'espèces de vibrions halophiles à Penly.

En 2017, seules 2 espèces ont été détectées à proximité du CNPE de Penly *: V. alginolyticus* et *V. vulnificus*. L'espèce *V. vulnificus* n'a toutefois pas été confirmée par PCR par Ifremer (LSEM Brest).

L'espèce *V. alginolyticus* est observée sur le seul point *Référence* au printemps, et sur tous les autres points en été et en automne excepté sur le point *Canal*. Ces résultats sont en accord avec les observations précédentes, qui montrent l'importance relative de cette espèce parmi les vibrions halophiles cultivables à 37°C sur milieu TCBS sur la zone à proximité du CNPE de Penly, tout au long de l'année. La période automnale se caractérise habituellement par un plus grand nombre d'espèces de vibrions halophiles identifiées. L'année 2017 ne contredit pas cette observation.

Tableau 4-6 : Identification des espèces de vibrions halophiles (méthode EDF) par saison et par station de 2004 à 2017.



4.6 Conclusions

Si les germes totaux montrent, en 2017, des niveaux légèrement plus élevés que les années précédentes, la fraction revivifiable reste parmi les plus faibles observées ces dernières années. La variabilité spatiale observée entre les points est très limitée, et peu significative du point de vue écologique.

Le cycle saisonnier des vibrions halophiles observé en 2017 reste conforme à ce qui est généralement observé sur ce site. Toutefois, les premiers vibrions observés au printemps 2017 n'étaient présents que sur le point *Référence*. Cette situation est plutôt rare et ne peut être rapprochée que de 2007 et 2012.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment microbiologique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

5. Zooplancton

Rédaction :	Elvire Antajan (LER – BL)
Analyses :	Elvire Antajan (LER – BL) Rémy Cordier (LER – BL) Sophie Schmitt (DYNECO/Pelagos) Florian Caradec DYNECO/Pelagos)
Prélèvements :	Frank Maheux (LERN), Olivier Pierre-Duplessix (LERMPL).

5.1. Introduction

Le zooplancton (du grec *zoon* = animal et *planao* = errer passivement) regroupe l'ensemble des organismes vivants de nature animale vivant en suspension dans l'eau et dont la capacité de nage ne leur permet pas de lutter contre les courants ou d'éviter un obstacle. Le zooplancton est hétérotrophe, c'est à dire qu'il se nourrit de matière vivante, notamment de phytoplancton. Il occupe ainsi une position clé dans la chaîne alimentaire pélagique en permettant le transfert de l'énergie organique produite par le phytoplancton vers les niveaux trophiques supérieurs que sont les poissons, les crustacés benthiques, les oiseaux et les mammifères marins.

Les changements détectables dans l'abondance ou la composition des espèces du zooplancton peuvent refléter des changements fondamentaux dans l'environnement océanique affectant le phytoplancton. Comme un grand nombre d'espèces de zooplancton a une durée de vie relativement courte et qu'elles peuvent avoir un taux de croissance élevé, elles réagissent rapidement aux perturbations environnementales (changements climatiques, pollutions ponctuelles et prédation) qui influencent l'abondance, la diversité et le cycle saisonnier du zooplancton.

5.2. Matériels et méthodes

En 2017, les trois campagnes de prélèvements ont eu lieu les 23 mars, 14 juin et 27 septembre. Lors de chaque campagne, quatre points sont étudiés :

- Le point *Canal* (situé à l'entrée du canal d'amenée de la centrale) ;
- Le point *Rejet* (situé dans les turbulences du rejet) ;
- Le point *Contrôle* (situé au large du rejet) ;
- Le point *Référence* (situé au large, au-delà de la zone d'influence de la centrale).

Les échantillons zooplanctoniques ont été collectés à l'aide d'un filet à plancton de type WP2 (ouverture 0,25 m^2, hauteur 261 cm, cylindro-conique, vide de maille 200 µm – Fraser 1968[1]). Le filet est descendu jusqu'à environ 3 mètres au-dessus du fond puis est ramené à la surface à une vitesse de 1 m s^{-1}. Un volucompteur est attaché à l'entrée du filet afin de connaître précisément le volume d'eau filtré. Pour chaque point de prélèvement deux traits de filet à plancton ont été effectués. L'un des deux échantillons collectés est aussitôt filtré à bord sur des soies et congelé afin d'évaluer la biomasse sestonique (mesure du poids sec et composition en carbone et azote), l'autre échantillon est formolé en vue du dénombrement des espèces animales.

Les prélèvements au filet WP2 ne permettant pas une estimation fiable de l'abondance des cténaires qui peuvent être de dimension centimétrique, ceux-ci sont collectés lors des campagnes halieutiques en même temps que l'ichtyoplancton avec un Bongo équipé de deux filets de 500 µm de vide de maille et ayant une ouverture de 60 cm. Ces prélèvements ont eu lieu lors de 4 campagnes de prélèvement entre avril et mai aux points *Canal*, *Rejet* et *Contrôle* (voir chapitre ichtyoplancton pour plus de détails sur ces prélèvements).

5.2.1. Mesure de la biomasse sestonique

Les prélèvements au filet à plancton destinés à la mesure de la biomasse sestonique ont été filtrés immédiatement à bord sur des soies de 100 µm pré-pesées, congelées et transportées au laboratoire. Selon la concentration des échantillons plusieurs soies peuvent être nécessaires pour un même échantillon. Ces soies ont ensuite été séchées dans une étuve à 60 °C pendant 48 heures. Les soies comportant le plancton séché ont alors été pesées et les poids secs, ou biomasses du seston, déduits. Le poids sec récolté et le volume filtré permettent d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m^3).

Les échantillons de poids sec ont par la suite été broyés pour être analysés au CHN LECO pour les dosages de carbone (C) et d'azote (N). L'expression des résultats est obtenue en poids carbone (mg C) ou d'azote (mg N) par unité de volume (m^3).

[1] Fraser JH (1968) Smaller mesozooplankton, report of Working Party No.2. In: Tranter DJ (ed), Standardization of zooplankton sampling methods at sea, Part II. Monogr. Oceanogr. Methodol. 2, Zooplankton Sampling. UNESCO (United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization) Press, Paris, pp 153-159.

Le poids sec mesuré et le volume filtré permettront d'évaluer le poids sec (mg) par unité de volume (m^3).

5.2.2. Analyse taxinomique du zooplancton

Les prélèvements zooplanctoniques destinés au dénombrement des espèces animales sont rincés sur un tamis de 200 µm afin d'éliminer le formol et les particules les plus fines qui gênent le comptage du zooplancton. En fonction de la concentration de l'échantillon celui-ci est fractionné en sous-échantillons à la boîte de Motoda (Motoda 1983)[2]. Le sous-échantillon est alors analysé au ZooScan, un système d'imagerie numérique permettant la numérisation des prélèvements du zooplancton en milieu liquide et utilisant l'analyse d'image pour détecter, compter et mesurer le zooplancton (Gorsky et al. 2010)[3]. L'emploi des méthodes automatiques de classification d'objets permet de classer rapidement les organismes en grands groupes faunistiques. Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind. m^{-3}).

La bibliographie utilisée pour l'identification des zooplanctontes est très variée et inclue notamment : les fiches d'identification du plancton CIEM - (1939 - 1986), un manuel d'identification du zooplancton côtier (Todd et al., 1996)[4], et des clés de détermination pour des groupes spécifiques tels que les copépodes pélagiques (Rose, 1933)[5] ou les larves de décapodes (Martin, 2001)[6] par exemple.

5.2.3. Disponibilité des données depuis le début de la série

Le suivi du zooplancton dans le milieu marin proche du site de Penly n'est pas régulier depuis son origine en 1977, autant dans le temps que dans l'espace (Tableau 5.1).

De mars à août 1977 seules deux stations ont été échantillonnées mensuellement dans le cadre de l'étude d'avant-projet. Puis de 1978 à 1980 (étude écologique) le nombre de stations est passé à quatre, toujours avec une fréquence mensuelle. Le suivi tel qu'il est aujourd'hui (stations + fréquence + périodes) a commencé en 1987 avec quatre points de prélèvement et 3 campagnes de prélèvements par an de mars à octobre.

Périodes	Nb de stations	Fréquence	Réplicas	Données manquantes	Remarques
Mars – août 1977	2	Mensuelle	2	Mai	Stations abandonnées
1978-1980	4	Mensuelle	10 (cycle de marée)	Décembre 1979	Stations abandonnées
1981-1986	Pas de données (mise en place de la Centrale)				
1987-aujourd'hui	4	Saisonnier (printemps, été, automne)	1	Rejet et Canal en avril 1990, mars 1993 et septembre 1999	Stations actuelles

Tableau 5.1. Stratégie du suivi zooplanctonique à Penly depuis 1977

[2] Motoda S (1959). Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of Fisheries. Hokkaido Univ. 7, 73-94.
[3] Gorsky, G., Ohman, M. D., Picheral, M., Gasparini, S., Stemmann, L., Romagnan, J. B., Cawood, A., Pesant, S., Garcia-Comas, C. and Prejger F. (2010). Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. J. Plankton Res., 32, 285–303

[4] Todd CD, Laverrack MS, Boxshall GA (1996) Coastal marine zooplankton – a practical manual for students. Cambridge University Press, pp. 106.
[5] Rose M (1933). Faune de France, 26. Copépodes pélagiques. Ed. Lechevalier, Paris, pp. 374 .
[6] Martin J (2001). Les larves des crustacés décapodes des côtes françaises de la Manche. IFREMER, France, pp. 175.

Toutefois la validation complète des données n'a pu être effectuée que depuis 1993 ; avant cette date aucune donnée brute n'est disponible en format numérique et les rapports étaient souvent peu précis et incomplets.

Au regard de l'évolution de la stratégie du suivi zooplanctonique sur le site de Penly depuis 1977 (pas d'échantillonnage, choix et localisation des stations), et de notre capacité à valider les données sur la base des feuilles de comptage et/ou des rapports écrits, il est recommandé de ne prendre en compte dans les analyses des comparaisons annelles que les années allant de 1993 à nos jours.

5.3. Résultats

Les résultats acquis au cours des différentes campagnes de mesure pour l'année 2017 sur le site de Penly sont présentés dans le tableau 5.2.

	PARAMETRES	CANAL	REJET	CONTROLE	RÉFÉRENCE
23 MARS 2017	*Poids sec (mg/m³)*	35,4	24,5	18,8	7,8
	Poids de carbone (mg/m³)	6,711	4,089	6,445	2,196
	Poids d'azote (mg/m³)	1,363	0,816	1,584	0,516
	Abondance holoplancton (ind./m³)	24	260	78	75
	Abondance méroplancton (ind./m³)	1860	2319	5964	3025
	Abondance zooplancton totale (ind./m³)	1883	2580	6064	3099
14 JUIN 2017	*Poids sec (mg/m³)*	40,9	44,2	39,0	52,4
	Poids de carbone (mg/m³)	8,561	10,316	13,518	17,003
	Poids d'azote (mg/m³)	1,872	2,316	3,322	4,236
	Abondance holoplancton (ind./m³)	1133	2071	2978	1984
	Abondance méroplancton (ind./m³)	487	376	353	877
	Abondance zooplancton totale (ind./m³)	1620	2448	3327	2860
27 SEPTEMBRE 2017	*Poids sec (mg/m³)*	69,6	64,5	109,0	35,9
	Poids de carbone (mg/m³)	17,031	14,367	27,707	9,848
	Poids d'azote (mg/m³)	2,768	2,994	5,003	2,355
	Abondance holoplancton (ind./m³)	726	1359	1610	1427
	Abondance méroplancton (ind./m³)	274	512	176	99
	Abondance zooplancton totale (ind./m³)	997	1873	1789	1516

Tableau 5.2. Récapitulatif des résultats de 2017 pour l'étude du zooplancton

5.3.1. Biomasse sestonique

On appelle seston, l'ensemble des particules en suspension dans l'eau qu'elles soient d'origine minérales ou organiques. Dans les eaux du large ou dans des milieux oligotrophes, peu turbides, le seston récolté avec un filet à plancton est essentiellement constitué de zooplancton et sa biomasse peut donc être assimilée à celle du zooplancton. Par contre dans les eaux côtières, souvent peu profondes (< 40 m) et avec un fort hydrodynamisme, le seston comprend également une part non négligeable de sables, vases, débris végétaux, etc., dus à la remise en suspension des sédiments dans la colonne d'eau. Dans ce cas il est difficile d'attribuer la biomasse sestonique à celle du zooplancton.

5.3.1.1. Variations spatiales et temporelles en 2017

Au cours de l'année 2017, la biomasse sestonique a varié entre 7,6 mg m^{-3} au point *Référence* en mars et 109 mg m^{-3} au point *Contrôle* en septembre (figure 5.1).

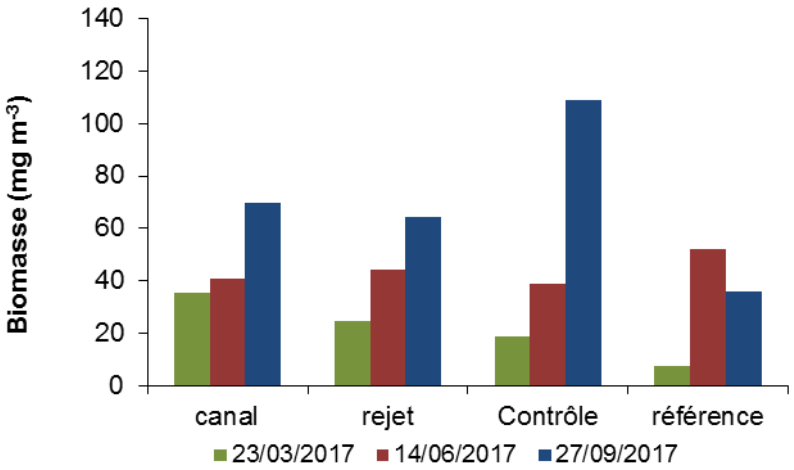


Figure 5.1. Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) au cours des trois campagnes de surveillance 2017

La biomasse sestonique présentait des valeurs décroissantes du point *Canal* au point *Référence* en mars. En juin, les biomasses étaient du même ordre de grandeur entre les points de prélèvement, alors qu'en septembre, la biomasse sestonique au point *Contrôle* était 1,5 à 3 fois plus importante qu'aux autres points. Cette année encore la biomasse sestonique et l'abondance zooplanctonique n'étaient pas corrélées. Alors que les biomasses sestoniques étaient souvent plus importantes aux points côtiers par rapport au point *Référence*, l'inverse était observé pour les abondances zooplanctoniques, avec un gradient croissant de la côte vers le large (cf. figure 5.4). Le rapport C/N peut habituellement servir à caractériser un compartiment tel que le zooplancton (rapport C/N ~ 4-5 ; Mauchline, 1998)[7] ou le phytoplancton (C/N ~ 6-7 ; Biddanda & Benner, 1997)[8]. Les rapports C/N de 2017 étaient généralement compris entre 4 et 5, indiquant plutôt une prépondérance du zooplancton dans la composition du seston (figure 5.2.). Aux points les plus côtiers (*Canal* et *Rejet*, et *Contrôle* en septembre), ce rapport était plus élevé (>4,5), en lien avec des pourcentages en azote plus faibles que pour les autres points. Une forte proportion de matière minérale dans les récoltes peut expliquer ces faibles pourcentages et donc un rapport C/N plus élevé.

[7] Mauchline, J. (1998). The biology of calanoid copepods. Advances in Marine Biology 33: 1-710

[8] Biddanda B.and Benner R. (1997). Carbon, Nitrogen, and Carbohydrate Fluxes During the Production of Particulate and Dissolved Organic Matter by Marine Phytoplankton. *Limnology and Oceanography* , Vol. 42, No. 3 (May, 1997), pp. 506-518

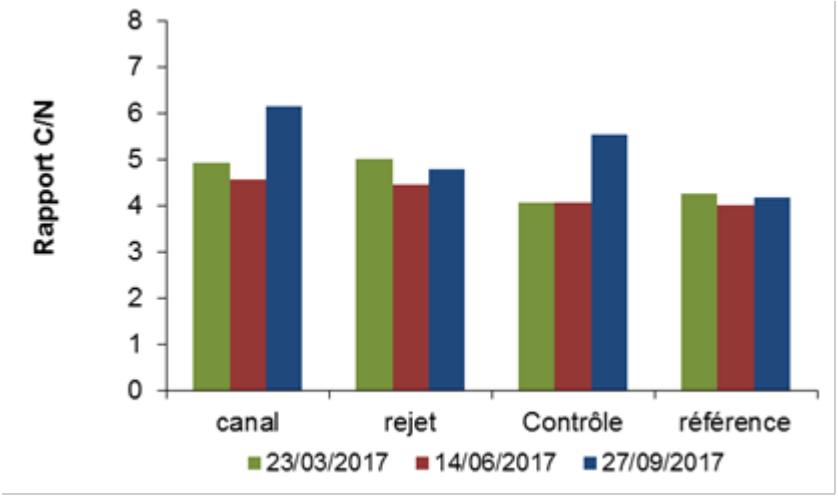


Figure 5.2. Évolution du rapport C/N du seston au cours des trois campagnes de surveillance 2017

5.3.1.2. Variations interannuelles

Lors de la sortie automnale, les biomasses à la côte (*Canal*, *Rejet* et *Contrôle*) étaient parmi les plus importantes relevées à ces points. Lors des campagnes printanière et estivale, les valeurs de biomasse sestonique étaient au contraire dans la moyenne basse des précédentes observations. Les plus fortes dispersions des valeurs de la série 1993-2016 sont observées pour les campagnes printanières et estivales (figure 5.3). Les biomasses sestoniques sont en général toujours plus faibles en automne, ce qui n'a pas été observé cette année du fait des mauvaises conditions météorologiques de septembre.

Pour vérifier si la biomasse sestonique est significativement différente entre les points de prélèvement, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée par saison sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1993 sont présentés dans le tableau 5.3.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	95	100	100
P	0,308	**0,023**	0,088

Tableau 5.3. Probabilité associée *p* des tests statistiques sur la biomasse de 1993 à 2017 (*p* <0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

Les biomasses sestoniques estivales observées depuis 1993 sont significativement différentes entre les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tuckey) montre que c'est la moyenne de la biomasse du point *Canal* qui est significativement plus faible en été que celle du point *Référence*. Au printemps et en automne les biomasses sestoniques ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre.

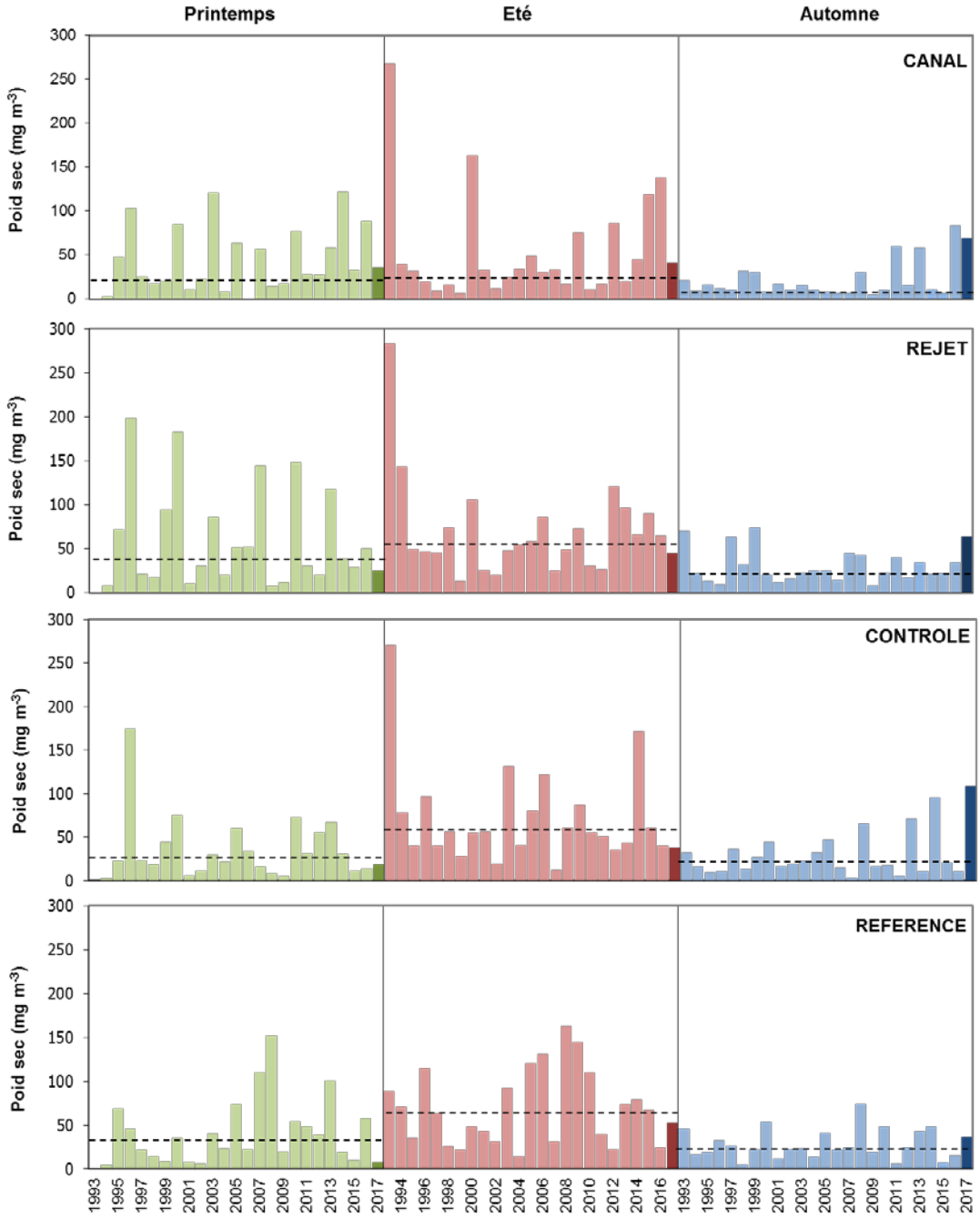


Figure 5.2. : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2017
La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.

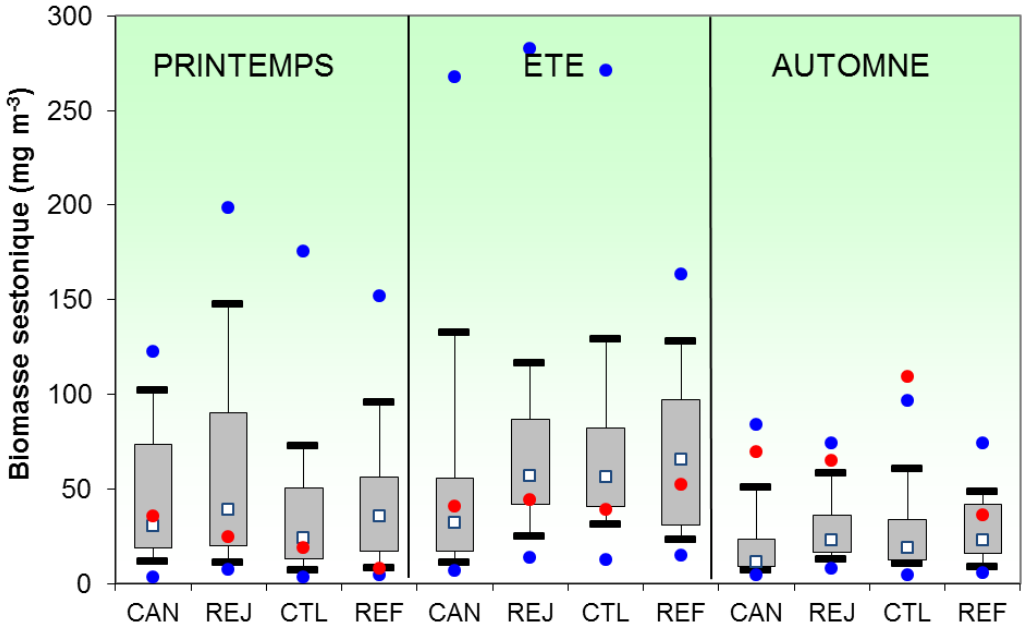


Figure 5.3. : Évolution de la biomasse sestonique (poids sec) de 1993 à 2016. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▣) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┬). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017(●).

5.3.2. Abondances zooplanctoniques globales

5.3.2.1. Variations spatiales et temporelles en 2017

Les dénombrements zooplanctoniques effectués en 2017 sont présentés sur la figure 5.4, et sont exprimés en nombre d'individus par m^3 d'eau de mer. Contrairement à la biomasse sestonique, l'abondance du zooplancton était toujours plus faible au point *Canal*. L'abondance a varié entre 997 ind. m^{-3} au point *Canal* en septembre et 6 046 ind. m^{-3} au point *Référence* en mars.

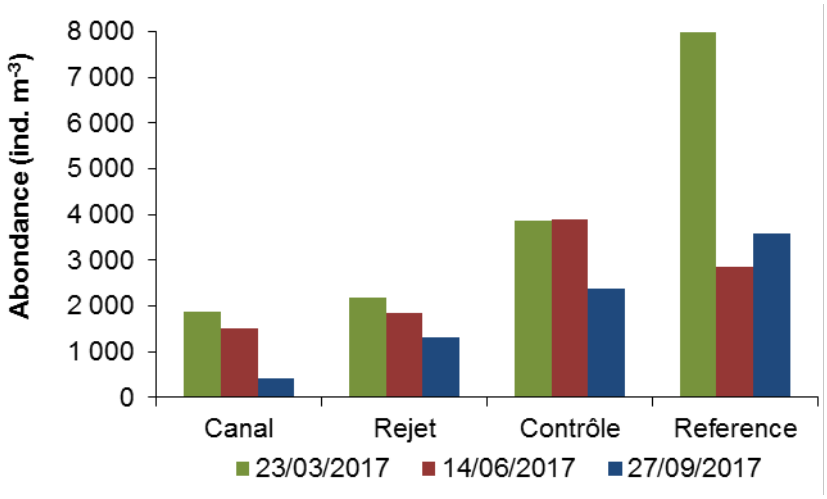


Figure 5.4. Évolution de l'abondance zooplanctonique au cours des trois campagnes de surveillance 2017

5.3.2.2. Variations interannuelles

Les abondances zooplanctoniques observées en 2017 étaient dans la moyenne des valeurs historiques observées sur le site depuis 1993, à l'exception du point Contrôle en mars où l'abondance était une des plus fortes observées depuis 1993 (figure 5.5. et figure 5.6.).

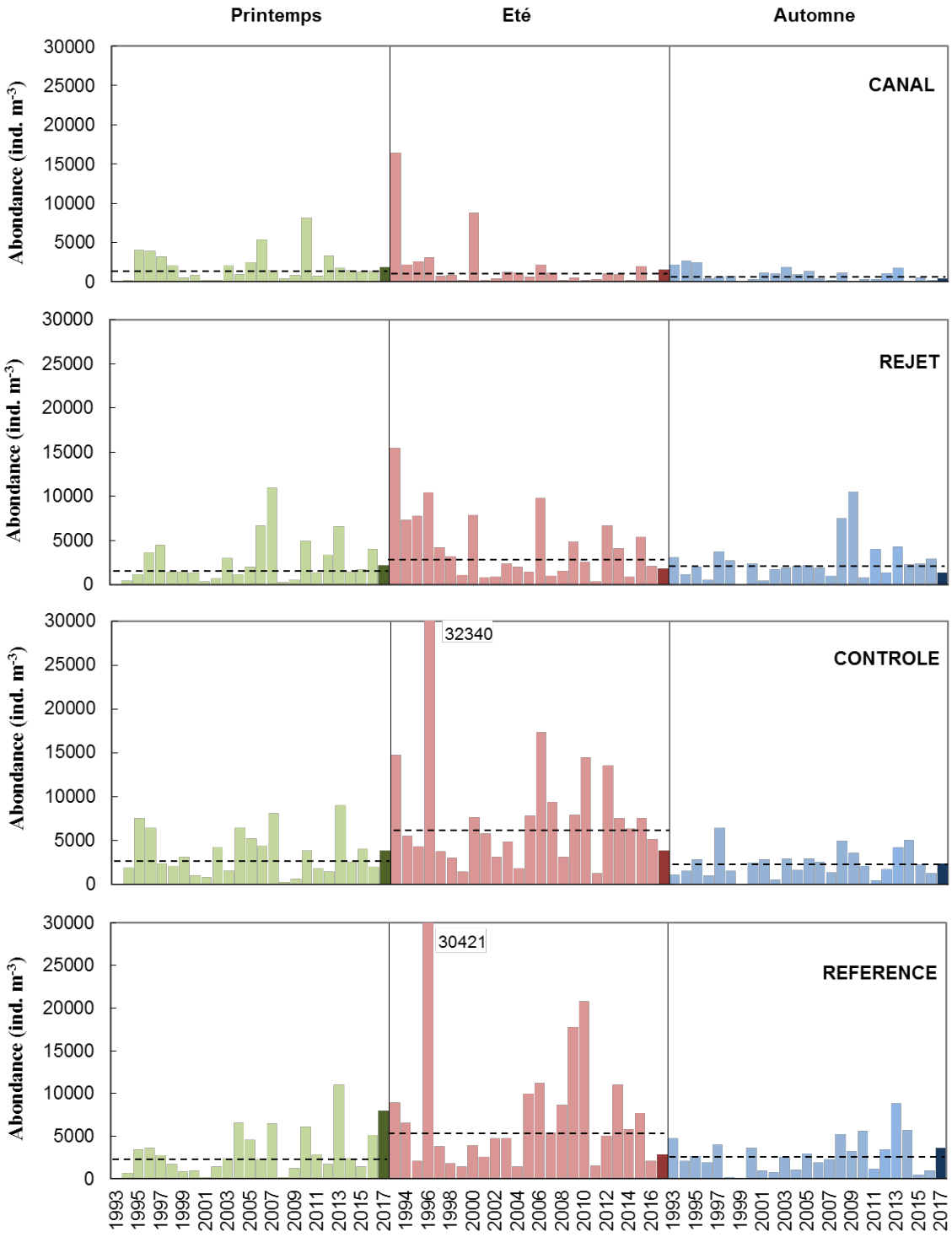
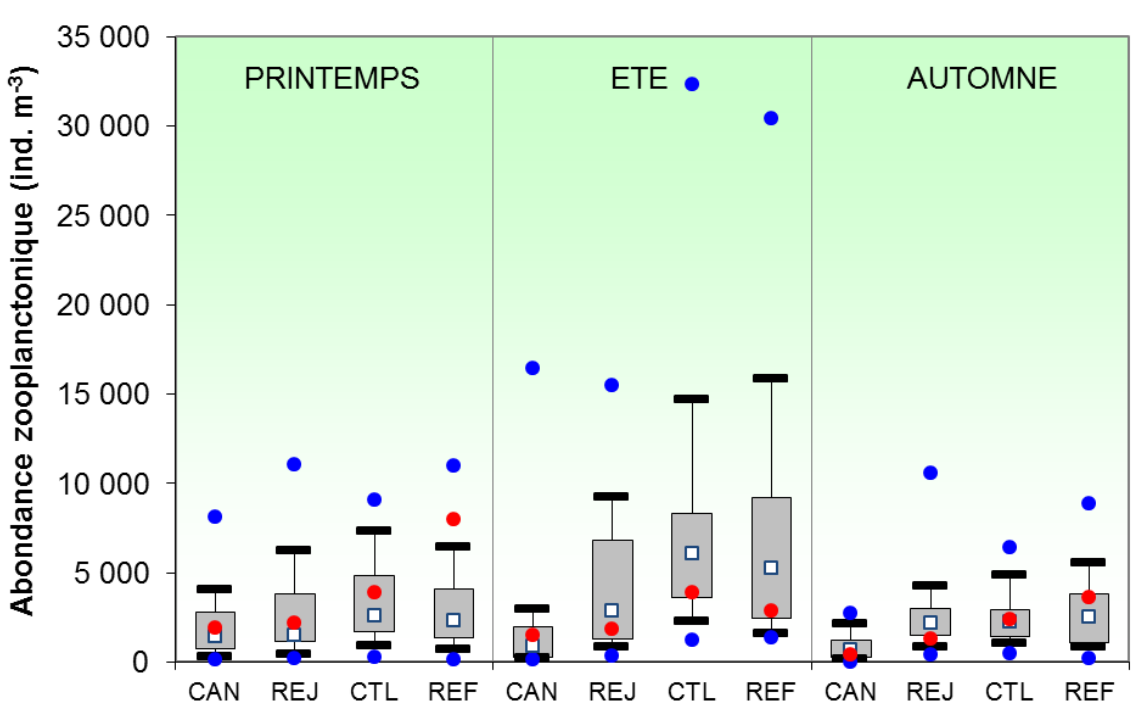


Figure 5.5. Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2017.
La ligne hachurée représente la médiane par saison et par point.

Les plus fortes dispersions de valeurs de la série 1993-2016 sont observées pour les campagnes estivales aux points Contrôle et *Référence* traduisant ainsi la forte variabilité interannuelle des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 5.6.). Cette année les abondances à ces points étaient d'ailleurs bien en deçà de la médiane. L'évolution interannuelle montre que les abondances



sont en général plus faibles en automne.

Figure 5.6. : Évolution de l'abondance zooplanctonique de 1993 à 2016. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▣) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┬). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017 (●)

Pour comparer les abondances zooplanctoniques entre les points *Canal*, *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1993 sont présentés dans le tableau 5.4.

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	96	100	96
p	0,098	**0,000**	**0,000**

Tableau 5.4. Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1993 à 2017 (*p* <0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

Les résultats des tests indiquent que les abondances zooplanctoniques printanières ne sont pas significativement différentes d'un point à l'autre. Par contre, en été et en automne l'ANOVA montre une différence hautement significative d'abondance selon les points de prélèvement. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tukey) montre que la moyenne des abondances du point *Canal* diffère de manière hautement significative avec celles des points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence*. De plus, en été, la moyenne des abondances du point *Rejet* diffère aussi de manière significative avec celle du point *Contrôle*. Comme observé sur les figures 5.5. et 5.6., le point *Canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances zooplanctoniques plus faibles que pour les autres points de prélèvement, de même que le point *Rejet* par rapport au point *Contrôle*.

5.3.3. Étude faunistique

5.3.3.1. Variations spatio-temporelles de l'holoplancton et du méroplancton

Un certain nombre d'espèces accomplissent l'intégralité de leur cycle biologique (œufs, larves, adultes) au sein du milieu pélagique ; ce sont les espèces holoplanctoniques. Les crustacés copépodes représentent généralement une part importante de cette fraction. Selon la saison, s'y ajoutent quelques espèces moins abondantes, appartenant à d'autres embranchements comme les cladocères, les appendiculaires et les chaetognathes. D'autres organismes holoplanctoniques comme les mysidacés, les isopodes et les cténaires ont été très peu ou pas présents lors des trois campagnes 2017 (tableau 5.5.).

		23 mars 2017								14 juin 2017								27 septembre 2017							
	Abondance zooplancton (N/m³)	Canal		Rejet		Contrôle		Référence		Canal		Rejet		Contrôle		Référence		Canal		Rejet		Contrôle		Référence	
		N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%	N/m³	%
Holoplancton	Copépodes	18	77	217	98	49	96	192	100	918	87	1446	93	3037	87	1966	99	291	99	903	96	2027	94	3110	92
	Appendiculaires	0	0	0	0	2	4	0	0	133	13	107	7	444	13	15	1	4	1	35	4	68	3	125	4
	Chaetognathes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	51	2	117	3
	Isopodes	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	13	1	25	1
	Mysidacés	5	23	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	Cténaires	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	7	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
	Total holoplancton	**23**	**1**	**222**	**10**	**51**	**1**	**192**	**2**	**1051**	**70**	**1555**	**85**	**3494**	**90**	**1982**	**69**	**294**	**73**	**946**	**73**	**2161**	**91**	**3378**	**94**
Méroplancton	Larves de décapodes	27	1	8	0	10	0	13	0	24	5	7	3	59	15	81	9	0	0	3	1	20	9	59	29
	Larves de cirripèdes	1819	98	1914	98	3773	99	7679	99	67	15	35	12	52	13	8	1	22	20	292	82	2	1	8	4
	Larves de bryozoaires	3	0	0	0	6	0	0	0	24	5	30	11	72	18	317	36	54	49	11	3	0	0	109	54
	Cnidaires	0	0	0	0	0	0	13	0	51	11	7	3	52	13	97	11	0	0	0	0	2	1	8	4
	Larves de mollusques	0	0	10	1	9	0	68	1	79	17	65	23	52	13	372	42	25	23	32	9	146	65	8	4
	Larves de polychètes	10	1	15	1	2	0	11	0	203	45	137	49	118	29	0	0	9	8	19	5	55	24	8	4
	Oeufs et larves de poissons	0	0	3	0	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total méroplancton	**1859**	**99**	**1949**	**90**	**3802**	**99**	**7783**	**98**	**451**	**30**	**281**	**15**	**405**	**10**	**879**	**31**	**111**	**27**	**356**	**27**	**224**	**9**	**201**	**6**
	Total zooplancton	**1883**		**2171**		**3853**		**7976**		**1502**		**1836**		**3899**		**2860**		**405**		**1302**		**2385**		**3578**	

Tableau 5.5. Abondance et dominance des principaux groupes zooplanctoniques à Penly en 2017

Par opposition à l'holoplancton, le méroplancton constitue la fraction temporaire du zooplancton, il regroupe les organismes dont seule une partie du cycle vital est planctonique. Il s'agit principalement de larves à vie pélagique émises par de nombreuses espèces à phase adulte benthique errante (crabes, annélides…) ou fixée : annélides, mollusques (moules…) et crustacés cirripèdes (balanes), nombreux sur l'estran rocheux. Le méroplancton est aussi constitué de phases pélagiques d'espèces fixées (méduses, qui représentent les phases sexuées libres de cnidaires). Il est donc de fait plus abondant au printemps et en été, pendant les périodes de reproduction des espèces benthiques (figure 5.7.).

Au printemps, le méroplancton représentait plus de 90 % du zooplancton et était beaucoup plus important aux points *Contrôle* et *Référence.* Cette fraction était essentiellement composée de larves de cirripèdes. L'holoplancton était, quant à lui, presque exclusivement composé de copépodes.

En été, le méroplancton ne représentait plus que (22 %) du zooplancton total, mais avait une diversité plus importante, avec, en plus des larves de cirripèdes, des larves de bryozoaires, de mollusques et de polychètes. L'holoplancton (70 à 90 %) était composé principalement de copépodes (≥ 87 %) et d'appendiculaires.

En automne, le méroplancton était plus important à la côte (27 %), alors que l'holoplancton dominait plus largement aux points *Contrôle* et *Référence* (> 90 %). Les copépodes étaient encore le principal groupe holoplanctonique (≥ 92 %).

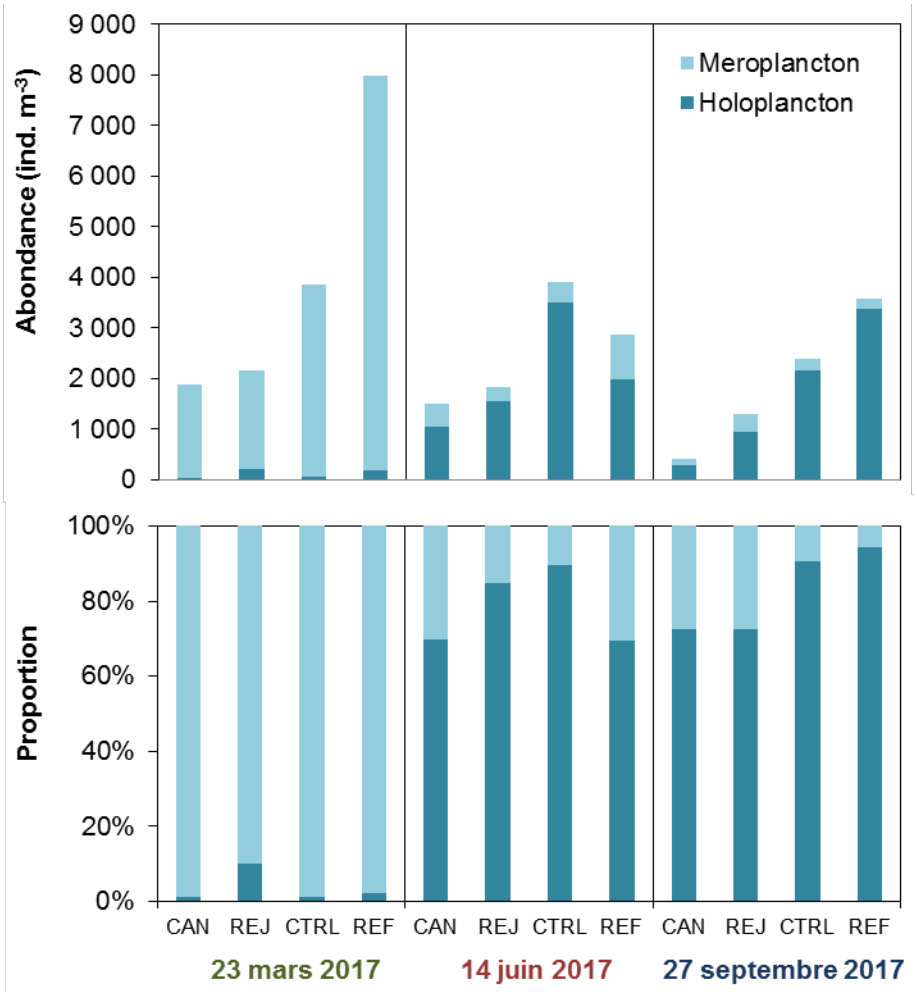


Figure 5.7. Abondance et proportion de l'holoplancton et du méroplancton au cours des trois campagnes de surveillance 2017

5.3.4. Variations spatio-temporelles des principaux taxons

5.3.4.1. L'holoplancton

- Les copépodes

  Les copépodes, qui constituaient le taxon dominant de l'holoplancton, ont montré la même évolution saisonnière que celui-ci (figure 5.8.). L'évolution interannuelle de l'abondance totale en copépode depuis 1993 montre que ce groupe taxinomique est généralement plus abondant en été par rapport au printemps et à l'automne. Les plus fortes dispersions de valeurs de la série sont observées aux points *Rejet* et *Contrôle* traduisant ainsi la forte variabilité des abondances zooplanctoniques sur ces points (figure 5.8.).

  Pour comparer les abondances de copépodes entre les points *Canal*, *Rejet*, *Contrôle* et *Référence* à chaque saison, une analyse de variance à un critère de classification (ANOVA one-way) a été appliquée sur la série temporelle après normalisation des variables par transformation log (x+1) et vérification de l'homogénéité des variances (test de Bartlett). Les résultats des tests statistiques sur l'ensemble des valeurs acquises depuis 1993 sont présentés dans le tableau 5.6.

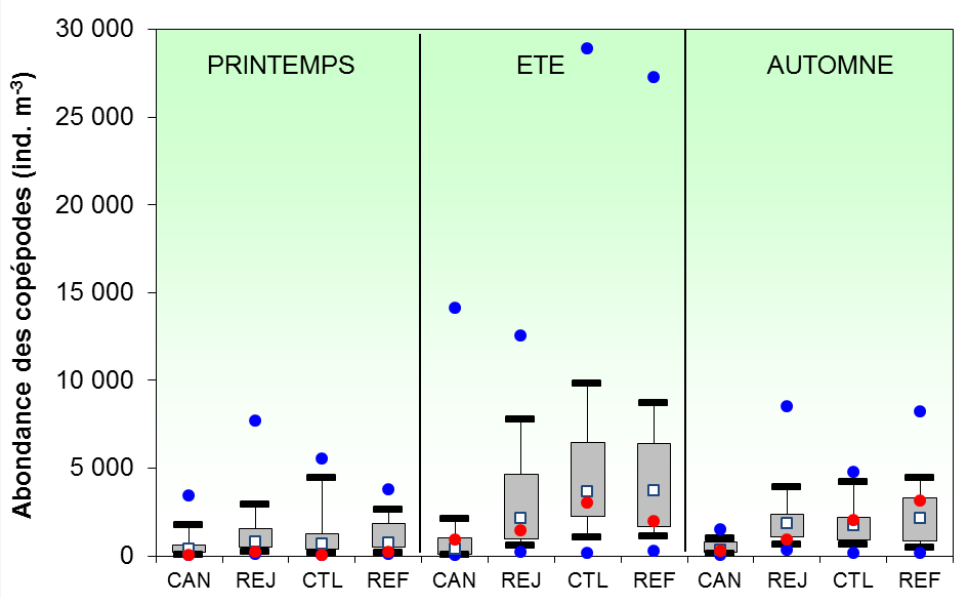


Figure 5.8. Évolution de l'abondance des copépodes de 1993 à 2016. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▭) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┬). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017 (●)

COMPARAISON	PRINTEMPS	ÉTE	AUTOMNE
n	96	100	97
p	**0,047**	**0,000**	**0,000**

Tableau 5.6. Probabilité associée *p* des tests statistiques sur les abondances de 1993 à 2017 (*p* <0,05 = différence significative ; n = nombre de données)

Les résultats des tests indiquent que les abondances estivales et automnales de copépodes diffèrent selon les points de prélèvement de façon hautement significative, alors qu'au printemps cette différence est peu significative. Une analyse post-hoc de comparaison multiple (test de Tukey) montre que, comme pour l'abondance zooplanctonique totale, la moyenne des abondances du point *Canal* diffère de manière hautement significative avec celles des points *Rejet*, *Contrôle* et *Référence*. Comme observé sur la figure 5.8. le point *Canal* semble donc bien être caractérisé par des abondances plus faibles que pour les autres points de prélèvement. Au printemps, l'analyse post-hoc n'a pas permis de mettre en évidence de différences significatives.

L'indice de diversité de Shannon (figure 5.9.) est une mesure de la diversité tenant compte de la richesse spécifique (S, nombre total d'espèces observées), mais aussi de la proportion représentée par chaque espèce au sein de la communauté. Sa valeur varie entre 0, si la communauté ne contient qu'une seule espèce, et $\log_2(S)$, si toutes les espèces contiennent le même nombre d'individus.

Cet indice est assez faible dans les eaux environnant le CNPE de Penly ($\leq$ 2,3 Bit. ind^{-1}) en regard du nombre d'espèces de copépodes présent dans nos échantillons (entre 4 et 10). Comme souvent en milieu côtier tempéré, les échantillons étaient caractérisés par une ou deux espèces de copépodes représentant 56 à 91 % du peuplement alors que plusieurs espèces n'étaient

représentées que par quelques individus.

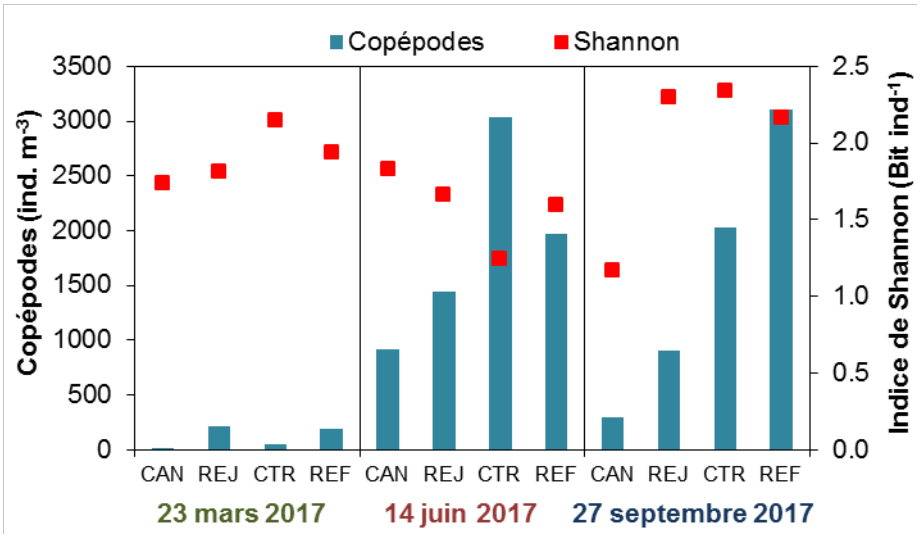


Figure 5.9. Abondance des copépodes et diversité spécifique en 2017

Parmi les espèces 'rares' identifiées dans les échantillons, il faut signaler un individu adulte femelle de *Pseudodiaptomus marinus* au point *Canal* en septembre. Ce copépode non indigène d'origine asiatique a été signalé pour la première fois en France sur le site de Gravelines en 2010 (Brylinski et al. 2012)[9]. C'est la première année que cette espèce est observée sur le site de Penly. Sa présence à la côte et en septembre n'est pas surprenante puisque c'est aussi la période de plus forte abondance sur le site de Gravelines où cette espèce prolifère depuis son introduction. Cette année, un individu a également été observé sur le site de Paluel au point *Rejet* en septembre comme l'an passé. Il semble donc, que l'aire de répartition de cette espèce s'étende sur les côtes françaises de la Manche est. A ce jour, cette espèce n'a pas été observée sur le site de Flamanville.

Parmi les principales espèces de copépodes présentes sur le site de Penly on retrouve (figure 5.10.) :

Acartia sp

Le genre *Acartia*, était plus abondant dans nos échantillons aux mois de juin et septembre (24 % des copépodes). Il est dans cette région principalement représenté par l'espèce *A. clausi* plutôt estivale et automnale. Les abondances étaient faibles au point *Canal* et plus abondantes aux deux autres points côtiers par rapport au point du large.

Temora longicornis

Présente toute l'année, cette espèce était également plus abondante dans nos échantillons aux mois de juin et septembre (28 % des copépodes) et présentait aussi un gradient croissant de la côte vers le large. Ces deux espèces de copépode, *A. clausi* et *T. longicornis*, sont les plus abondantes et les plus caractéristiques de la communauté planctonique dans les eaux proches du CNPE de Penly.

Pseudocalanus elongatus et Paracalanus parvus

Espèce généralement printanière et estivale, *P. elongatus*, était quasi absente cette année. Une étude publiée en 2010 sur 20 années de suivi des communautés zooplanctoniques devant Plymouth (Angleterre) confirme que *P. elongatus*, autrefois très abondante, est en diminution en Manche (Eloire *et al.* 2010)[10]. Espèce plutôt automnale, *P. parvus*, présentait un fort gradient d'abondance croissante côte-large en septembre (absente au point *Canal*). Cette espèce succède habituellement

[9] Brylinski J-M, Antajan E, Vincent D, First record of the Asian Copepod *Pseudodiaptomus marinus* Seto 1913 (Copepoda: Calanoida: Pseudodiaptomidae) in the southern bight of the North Sea *Aquatic Invasions* 7(4): 577- 584.

[10] D, Somerfield PJ, Conway DVP, Halsband-Lenk C., Harris R., Bonnet D. (2010) Temporal variability and community composition of zooplankton at station L4 in the Western Channel: 20 years of sampling. J. Plankton Res. 32: 657-679

à *P. elongatus* dans les communautés planctoniques des milieux côtiers tempérés.

Centropages sp
Même en faible nombre (moins de 11 % des copépodes), ce genre était présent en juin et septembre, et présentait la même répartition entre les points que pour les autres espèces.

Euterpina acutifrons
Espèce caractérisant généralement les communautés automnales de copépodes en milieu côtier, *E. acutifrons* était aussi présente en juin. Cette espèce est de plus petite taille que les autres espèces précédemment citées et à un mode de vie étroitement lié aux sédiments. De ce fait les abondances sont plus importantes à la côte par rapport au point *Référence*. En général seuls les adultes sont collectés dans la colonne d'eau avec les filets à plancton (surtout des femelles), soit que les copépodites soient trop petits et passent à travers la maille du filet, soit qu'ils vivent trop près du fond pour être collectés.

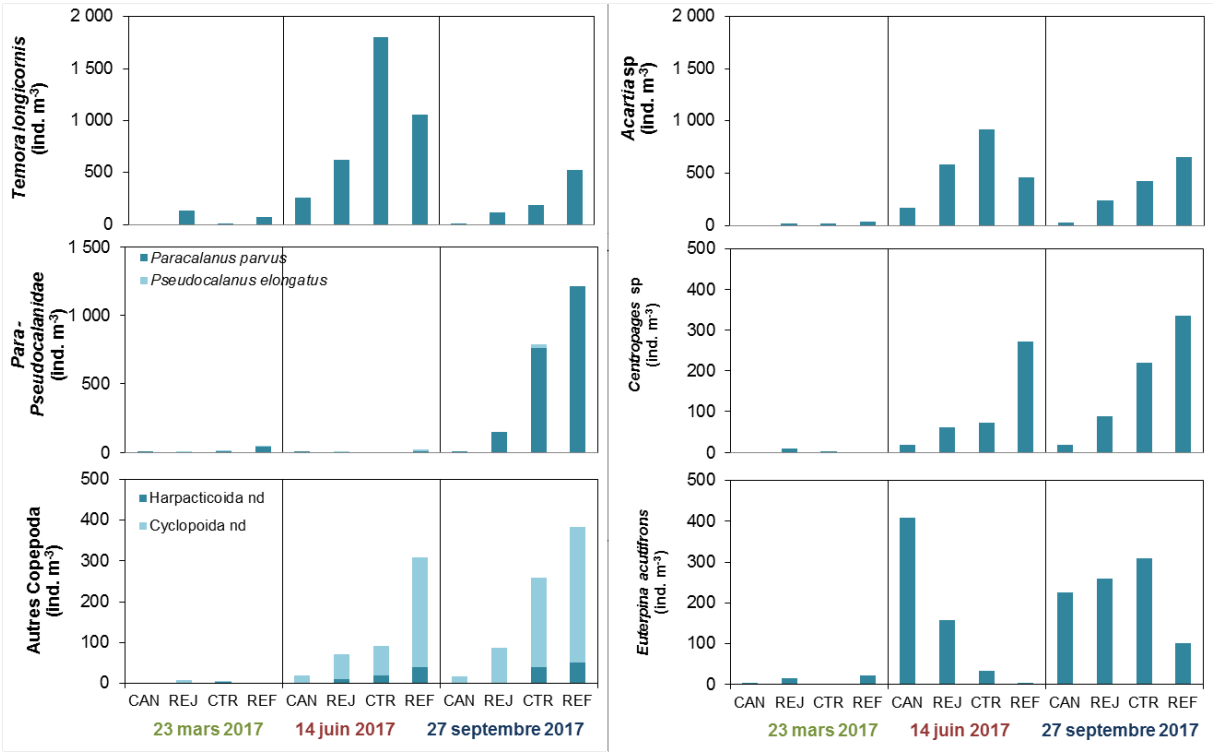


Figure 5.10. Abondance des principales espèces de copépodes en 2017

- Les autres espèces holoplanctoniques

  Les appendiculaires, étaient principalement représentés par l'espèce *Oikopleura dioica*, mais en juin, au point *Contrôle*, l'espèce *Fritillaria borealis* était également présente (figure 5.11.). Cette espèce est caractéristique des eaux côtières continentales moins salées (< 34), alors que *O. dioica* est plutôt caractéristique des eaux de la Manche centrale ayant une salinité plus élevée[11]. Il s'agit du deuxième groupe holoplanctonique après les copépodes en termes d'abondance, pouvant représenter jusqu'à 13 % des organismes.

  Les chaetognathes, représentés par le genre *Parasagitta* ont été uniquement identifiés en septembre, avec un gradient d'abondance croissant de la côte vers le large (absent au point *Canal*).

[11] Wyatt T (1973) The Biology of Oikopleura dioica and Fritillaria borealis in the southern bigth. Mar. Biol. 22:137-158

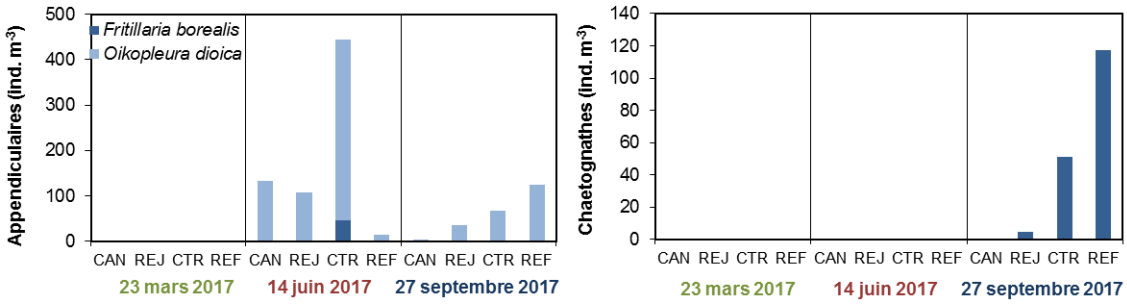


Figure 5.11. Abondances des appendiculaires et des chaetognathes en 2017

Les cténaires, représentés par la groseille de mer *Pleurobrachia pileus*, sont également étudiées dans les échantillons collectés durant les quatre campagnes en mer pour le suivi de l'ichtyoplancton, aux points *Canal*, *Rejet* et *large* (cf. chapitre 3.1). Ces organismes gélatineux, holoplanctoniques, font l'objet d'un suivi particulier car en forte densité ils peuvent entraîner un colmatage du système de refroidissement du CNPE. Le suivi de ces échantillons depuis 2007 montre que les abondances observées sont généralement très faibles (< 4 ind. 10 m^{-3} ; figure 5.12.). Toutefois cette année, les abondances ont à plusieurs reprises largement dépassé les maxima observés depuis 2007. Ce fut le cas au point *Canal* fin avril et début mai, et au point large fin avril, début et fin mai (max, 233 ind. 10 m^3 début mai au point *large*).

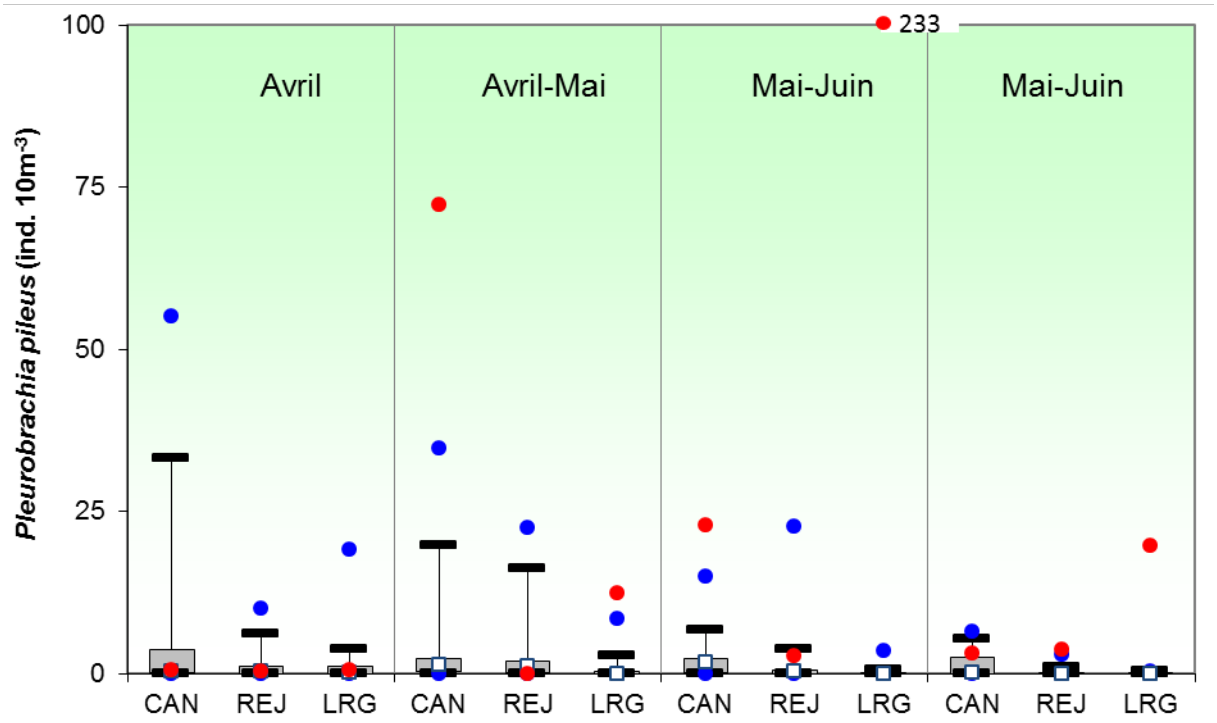


Figure 5.12 : Abondances des cténaires, *Pleurobrachia pileus* de 2007 à 2016. Le point central représente la médiane (□) ; la boîte englobe 50 % des valeurs (▣) ; les moustaches, 80 % des valeurs (┬). Les points extrêmes, présentent les valeurs maximales et minimales (●). Le point rouge représente la valeur obtenue en 2017 (●)

5.3.4.1.1. Le méroplancton

Les stades larvaires des espèces méroplanctoniques appartenant à différents embranchements ou classes ont été dénombrés au cours des trois campagnes et les plus caractéristiques sont présentées dans la figure 5.13.

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des cirripèdes

  Les cirripèdes sont des crustacés qui, au stade adulte, vivent fixés sur les rochers et les substrats durs. Ils constituent une part importante des 'salissures' ('fouling'). Les larves, essentiellement les stades nauplii de balanes, sont émises en grande quantité et constituent un maillon important de la

chaîne alimentaire. Les larves de cirripèdes étaient très abondantes en mars représentant alors jusqu'à 98 % du zooplancton total avec un maximum d'abondance de 5 840 ind. m^{-3}. Le gradient d'abondance était croissant vers le large.

- Embranchement des annélides

  Des larves d'annélides polychètes étaient plus abondantes en juin, en particulier à la côte (219 ind. m^{-3}), représentant entre 29 et 49 % du méroplancton. Il s'agissait pour l'essentiel de larves de *Lanice conchilega*, un ver sédentaire filtrant. La forme adulte de l'espèce forme parfois des concentrations d'individus très denses connues sous le nom de "gazon à lanices".

- Embranchement des mollusques

  Les larves de mollusques (essentiellement de gastéropodes) représentaient entre 13 et 42 % du méroplancton en juin avec un maximum de 372 ind. m^{-3} au point *référence*.

- Embranchement des arthropodes, classe des crustacés, ordre des décapodes

  Les larves de décapodes (crabes, crevettes, pagures, galathées,…) étaient présentes lors des trois campagnes de prélèvement. En mars les larves de crabes (brachyoures) prédominaient. En juin et septembre les abondances étaient plus importantes aux points *Contrôle* et *référence*, et aussi plus diversifiées.

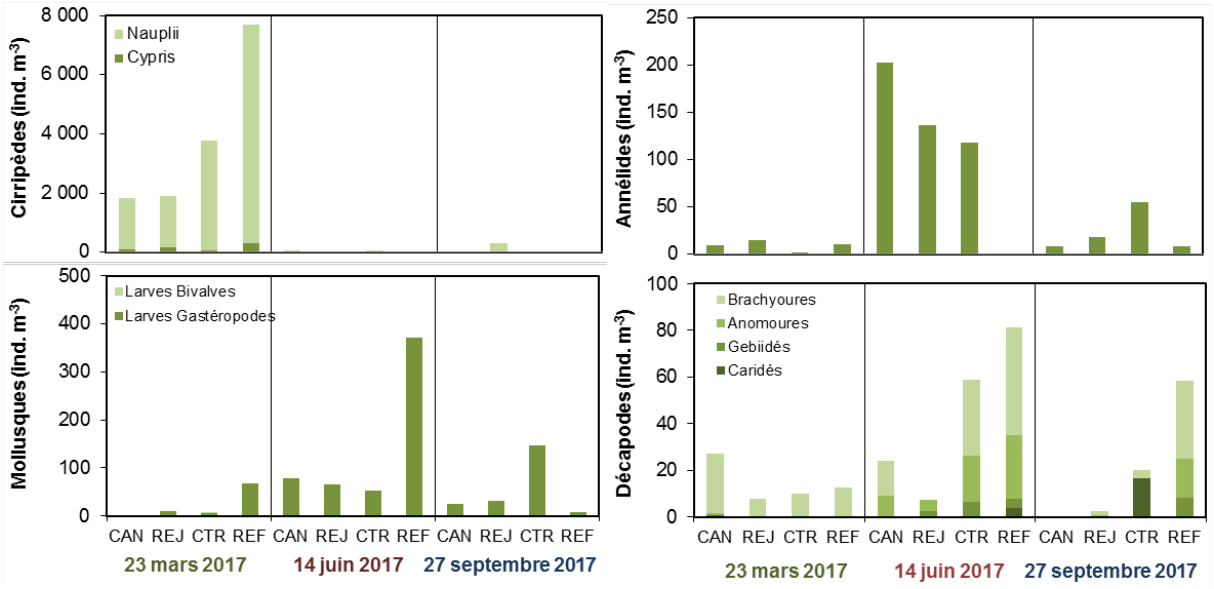


Figure 5.13. Abondance des principales espèces méroplanctoniques en 2017

5.4. Conclusions

Les données historiques acquises depuis 1993 indiquent que la biomasse sestonique au point *Canal* est significativement plus faible en été que celles des autres points. De plus, les rapports C/N plus élevés observés au point *Canal*, en lien avec des biomasses en azote plus faibles, semblent indiquer une plus forte concentration en matière minérale dans la colonne d'eau en raison de sa faible profondeur (4 à 5 m). Bien que les rapports C/N pour les autres points de prélèvement montrent que la biomasse sestonique est essentiellement composée de zooplancton, cette année encore, les tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas les observations sur les abondances zooplanctoniques. Ces rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensu stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux ou coquilliers dans un environnement sous fort hydrodynamisme où la remise en suspension des sédiments est importante, est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. La composition zooplanctonique est également un facteur important faisant varier la biomasse sestonique. Par exemple, en mars la

biomasse sestonique présentait, à l'inverse de l'abondance, un gradient décroissant du point *Canal* vers le point *référence*, du fait de la prolifération des larves de cirripèdes (balanes). Ces larves sont très petites et ne représentent pas une biomasse importante par rapport à la biomasse planctonique constituée par l'ensemble des autres crustacés, beaucoup plus lourds, tels que les copépodes. Au mieux, l'analyse de la biomasse sestonique nous donne-t-elle une appréciation de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Penly lors des prélèvements.

Les abondances zooplanctoniques observées en 2017 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montrent toujours des abondances significativement plus faibles au point *Canal* par rapport aux autres points de prélèvement. La situation géographique particulière de ce point (faible profondeur, enclavement) et la charge en particules sédimentaires expliquent ces faibles abondances. La campagne du mois de mars se distingue toujours des deux autres campagnes par la proportion importante de larves méroplanctoniques, alors que dans les échantillons de juin et septembre ce sont les organismes holoplanctoniques, copépodes, appendiculaires et chaetognathes, qui dominent la communauté zooplanctonique.

Les abondances de la groseille de mer, *Pleurobrachia pileus*, ne présentaient pas de risque d'entraîner le colmatage des systèmes de refroidissement du CNPE. Mais cette année, a toutefois mis en évidence que des concentrations plus fortes pouvaient apparaître au printemps (avril-mai), au *large* comme au point *Canal*. Il faut donc rester vigilant sur les risques de prolifération de cette espèce au printemps.

La diversité spécifique des copépodes était faible ($\leq$ 2,3 Bit. ind^{-1}) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peut représenter jusqu'à 78 % du peuplement. Les copépodes appartenant à l'ordre des calanoides, typiquement pélagiques (*Acartia*, *Temora*, *Centropages* et *Paracalanus*) étaient plus abondants au large, alors qu'*Euterpina acutifrons* qui est une espèce d'harpacticoide pélagique vivant plus en relation avec le sédiment était plus abondante à la côte. A noter cette année, la première observation sur le site de Penly d'une espèce non-indigène, *Pseudodiaptomus marinus*, copépode asiatique, signalé pour la première fois en France en 2010 sur le site de Gravelines.

L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées depuis 1993 au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *Contrôle* et *Référence*. L'influence des rejets du CNPE de Penly sur le milieu n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

6. Halieutique

Rapport	Christophe LOOTS (RH/BL) Ivan SCHLAICH (RH/PEB)
Traitement des données	Nicolas GOASCOZ (RH/PEB)
Missions en mer	Ivan SCHLAICH (RH/PEB) Coline LAZARD (RH/BL) Nicolas GOASCOZ (RH/PEB) Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Laurent DUBROCA (RH/PEB)
Embarquements Ichtyoplancton	Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Josselin CABOCHE (RH/BL)
Tri de l'ichtyoplancton	Valérie LEFEBVRE (RH/BL) Josselin CABOCHE (RH/BL)
Tri macrofaune à terre	Nicolas GOASCOZ (RH/PEB) Coline LAZARD (RH/BL) Valérie LEFEBVRE (RH/BL)

6.1. Ichtyoplancton

Chez les poissons, les phases embryonnaire et larvaire représentées par les œufs et les larves (regroupées sous le terme d'ichtyoplancton) constituent une phase critique de leur cycle de vie. En effet, leur survie va influencer le maintien et le renouvellement des différentes espèces. De par leur mode de vie planctonique (dans la masse d'eau), ces œufs et larves sont très sensibles aux facteurs environnementaux et leur survie va dépendre des conditions hydrologiques (température, salinité…), hydrodynamiques (courants…) et trophiques (proies, prédateurs…) rencontrées au cours de leur développement. La Manche orientale et le sud de la mer du Nord sont connus pour abriter de nombreuses zones de frayères (zones de ponte des adultes) à partir desquelles, certains courants de marée orientent les larves vers des zones favorables à leur métamorphose en juvéniles de poissons.

6.1.1. Historique du suivi

Le suivi de l'ichtyoplancton au niveau du CNPE de Penly a commencé par une étude d'avant projet en 1978 et 1979 et s'est poursuivi à partir de 1987 après l'implantation du CNPE. Un échantillonnage mensuel voire bi-mensuel a été réalisé en 1978, 1979 et 1987. Puis, la fréquence d'échantillonnage a été réduite à 6 campagnes par an et ciblée sur la période printemps-été jusqu'en 1995. Depuis 1996, quatre campagnes annuelles sont réalisées entre les mois de mars à mai et cinq espèces cibles sont suivies, trois poissons plats : la sole commune (*Solea solea, L.*), la limande (*Limanda limanda, L.*) et la plie (*Pleuronectes platessa, L.*) et deux poissons pélagiques : le sprat (*Sprattus sprattus, L.*) et la sardine (*Sardina pilchardus, W.*). Le suivi de la plie n'est plus possible depuis 2006 car la période retenue pour les autres espèces n'est pas compatible avec la période de ponte hivernale de cette espèce. Il n'est pas certain qu'un échantillonnage plus tôt dans l'année permettrait un suivi pertinent comme l'ont montré les rapports avant 2005 où les abondances d'œufs et larves de plie enregistrées étaient très faibles. Ainsi, le suivi des œufs et larves de plie ne présente pas un réel intérêt dans ces conditions de prélèvement pour la zone située à proximité du CNPE de Penly et seules les quatre autres espèces sont dorénavant observées et suivies annuellement. Pour la limande, il existe un doute important quant à l'identification des œufs qui peuvent être confondus avec ceux de flet[1].

Depuis le début du suivi, les mêmes points ont été échantillonnés (cf. figure A p.11), un point côtier situé à l'entrée du *Canal* d'amenée des eaux de refroidissement du CNPE (point 1, ou point *Canal*), un point situé dans les eaux de rejet du CNPE (point 2, ou point *Rejet*) et un point *Contrôle* hors influence des eaux de rejet (point 3, ou point *Contrôle*).

6.1.1.1. Méthodes de prélèvement

Les prélèvements sont effectués avec un filet bongo muni de deux filets cylindro-coniques (diamètre d'ouverture : 60 cm ; maille de 500 µm ; Smith et Richardson, 1977)[2].

Les volumes filtrés (Vf) sont calculés à partir des indications de volucompteurs kc-denmark montés à l'entrée des filets selon la formule :

$$Vf = NTrs \times \alpha \times S$$

[1] Lelièvre, S., Jérôme, M., Maes, G.E., Calaivany, S., Vaz, S., Verrez-Bagnis, V., 2012. Integrating molecular identification of pelagic eggs with geostatistical mapping to improve the delineation of North Sea fish spawning grounds. Marine Ecology Progress Series. 445, 161-172.

[2] Smith P.E., Richardson S. 1977. Standard techniques for pelagic fish egg and larval surveys. FAO Fisheries Technics Pap. 175:100 pp.

avec NTrs le nombre de tours de volucompteur, α le coefficient de conversion du volucompteur (α = 0,3) et S la surface d'ouverture du filet (S = 0,28 m^2). Chacun des filets est considéré comme un réplicat.

Photo 1 : Configuration du filet bongo avec les volucompteurs et collecteurs

Les mesures de température et de salinité de surface ont été réalisées au moyen d'une sonde YSI 600 QS.

6.1.1.2. Conservation, identification et dénombrement

Les échantillons collectés sont conservés dans des flacons de deux litres pré-remplis d'une sauce de conservation formolée (concentration finale, 0,9 % ; Mastail et Battaglia 1978[3], Lelièvre et al. 2010[4]).

Les œufs et larves des quatre espèces cibles sont triés, identifiés et comptés sous loupe binoculaire sur tout ou partie de l'échantillon. Pour les œufs, deux stades sont distingués, un stade « Non Embryonné » (absence d'un embryon formé) et un stade « Embryonné » (présence d'un embryon formé). Lorsque l'échantillon est trop concentré, un fractionnement à la boîte de Motoda (Motoda 1959[5]) est réalisé de manière à obtenir un sous-échantillon contenant au moins 100 individus pour chaque groupe identifié (œufs embryonnés de sprat, larves de sole…). Le nombre d'individus comptés est ensuite ramené au volume total de l'échantillon (ind.m^{-3}).

L'identification est faite d'après Russel (1976)[6].

[3] Mastail, M., Battaglia, A. 1978. Amélioration de la conservation des pigments du zooplancton. Cons. Inter. Explor. Mer (CIEM), Comité de l'Océanographie biologique, L : 20.
[4] Lelièvre, S., Verrez-Bagnis, V., Jérôme, M., Vaz, S. 2010. PCR-RFLP analyses of formalin-fixed fish eggs for the mapping of spawning areas in the Eastern Channel and Southern North Sea. Journal of Plankton Research 32, 1527-1539.
[5] Motoda, S. 1959. Devices of simple plankton apparatus. Memoirs. Faculty of fisheries. Hokkaido University 7, 73-94.
[6] Russel, F.S. 1976. The Eggs and Planktonic Stages of British Marine Fishes. Academic Press, London-New York-San Francisco, 524 pp.

6.1.2. Expression des résultats

En 2017, les campagnes se sont déroulées les 03 avril, 20 avril, 02 mai et 17 mai (tableau 6.1).

Tableau 6.1 : Caractéristiques des campagnes d'échantillonnage de l'ichtyoplancton sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017

Date	Point	Réplicat	Heure du prélèvement	Température surface (°C)	Salinité surface	Durée du trait (min)	Volume filtré (m^3)
03 avril	Canal	1	11:48	11,5	33,2	5	141,74
		2					143,10
	Rejet	1	11:21	13,4	33,3	5	136,90
		2					149,63
	Contrôle	1	10:51	11,1	32,7	5	158,28
		2					162,86
20 avril	Canal	1	13:50	12,0	33,7	5	87,54
		2					88,22
	Rejet	1	13:26	15,3	33,7	5	54,63
		2					60,90
	Contrôle	1	12:55	12,4	33,1	5	98,31
		2					108,74
02 mai	Canal	1	11:15	12,9	33,8	2	25,02
		2					22,22
	Rejet	1	10:52	15,3	33,9	2	22,90
		2					25,02
	Contrôle	1	10:25	13,1	33,9	5	27,82
		2					24,60
17 mai	Canal	1	11:37	15,5	34,1	2	18,15
		2					22,31
	Rejet	1	11:05	16,6	34,2	2	59,38
		2					33,17
	Contrôle	1	10:28	14,9	34,1	2	44,19
		2					44,70

6.1.2.1. La sole (S. solea)

Les abondances des œufs et des larves de sole pour le printemps 2017 sont présentées dans le tableau 6.2 et la figure 6.1.

En 2017, les abondances les plus fortes ont été observées lors des trois premières campagnes et étaient dominées principalement par des œufs non-embryonnés pour les deux premières campagnes et par des larves pour la troisième campagne. Les abondances étaient généralement plus fortes au point *Contrôle* qu'aux autres points sauf pour la troisième campagne.

Tableau 6.2 : Abondances (ind.m^{-3}) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017

Date	Point	Réplicat	Total oeufs	Oeufs NE	Oeufs E	Larves
03 avril	Canal	1	0,27	0,25	0,02	0,00
		2	0,17	0,14	0,03	0,00
		Moyenne	**0,22**	**0,19**	**0,03**	**0,00**
	Rejet	1	0,70	0,63	0,07	0,00
		2	0,65	0,59	0,06	0,00
		Moyenne	**0,67**	**0,61**	**0,07**	**0,00**
	Contrôle	1	0,68	0,62	0,06	0,00
		2	0,83	0,76	0,07	0,00
		Moyenne	**0,75**	**0,69**	**0,07**	**0,00**
20 avril	Canal	1	0,47	0,34	0,13	0,00
		2	0,57	0,43	0,14	0,00
		Moyenne	**0,52**	**0,39**	**0,13**	**0,00**
	Rejet	1	0,53	0,40	0,13	0,00
		2	0,53	0,44	0,08	0,00
		Moyenne	**0,53**	**0,42**	**0,11**	**0,00**
	Contrôle	1	1,12	0,78	0,34	0,00
		2	0,94	0,71	0,23	0,00
		Moyenne	**1,03**	**0,75**	**0,28**	**0,00**
02 mai	Canal	1	0,04	0,04	0,00	0,12
		2	0,00	0,00	0,00	0,13
		Moyenne	**0,02**	**0,02**	**0,00**	**0,13**
	Rejet	1	0,13	0,04	0,09	1,44
		2	0,16	0,16	0,00	2,20
		Moyenne	**0,15**	**0,10**	**0,04**	**1,82**
	Contrôle	1	0,14	0,14	0,00	0,32
		2	0,24	0,16	0,08	1,34
		Moyenne	**0,19**	**0,15**	**0,04**	**0,83**
17 mai	Canal	1	0,11	0,11	0,00	0,00
		2	0,04	0,04	0,00	0,00
		Moyenne	**0,08**	**0,08**	**0,00**	**0,00**
	Rejet	1	0,02	0,02	0,00	0,00
		2	0,24	0,21	0,03	0,00
		Moyenne	**0,13**	**0,11**	**0,02**	**0,00**
	Contrôle	1	0,36	0,27	0,09	0,00
		2	0,36	0,31	0,04	0,00
		Moyenne	**0,36**	**0,29**	**0,07**	**0,00**

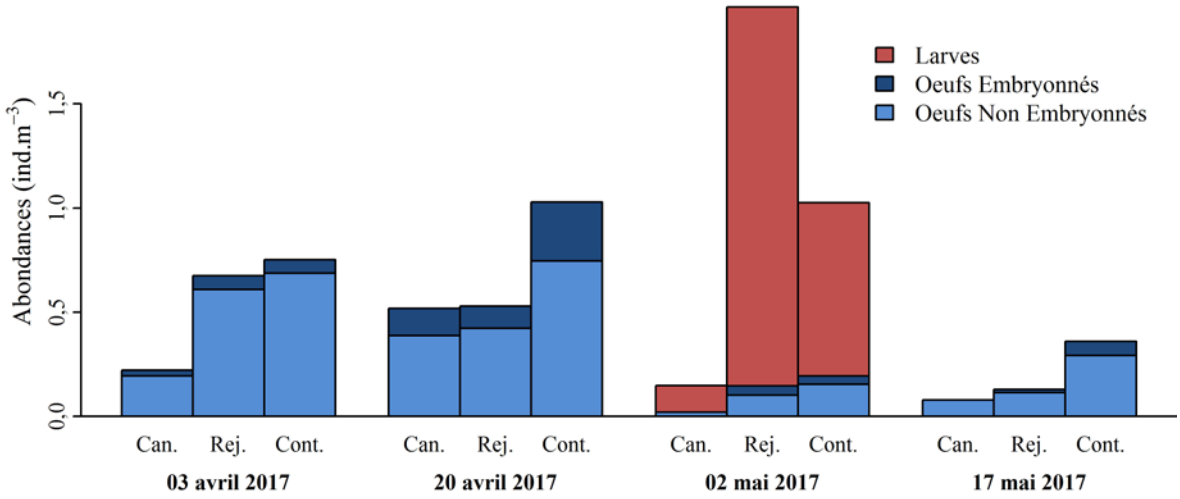


Figure 6.1 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en (ind.m^{-3}) des œufs et larves de sole sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017 en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., *Canal*; Rej., *Rejet*; Cont., *Contrôle*)

L'évolution des abondances des œufs et larves de sole observées depuis 1978 sur le site de Penly est présentée figure 6.2. Pour les œufs, l'année 2017 présente des abondances encore plus élevées que les années précédentes, notamment au point *Contrôle*, ce qui semble confirmer une tendance linéaire croissante depuis les six dernières années. Pour les larves, l'année 2017 montre pour la quatrième année consécutive des abondances non nulles (contrairement à la période 2001-2013) et qui sont également légèrement supérieures aux trois années précédentes, en particulier au point *Rejet*.

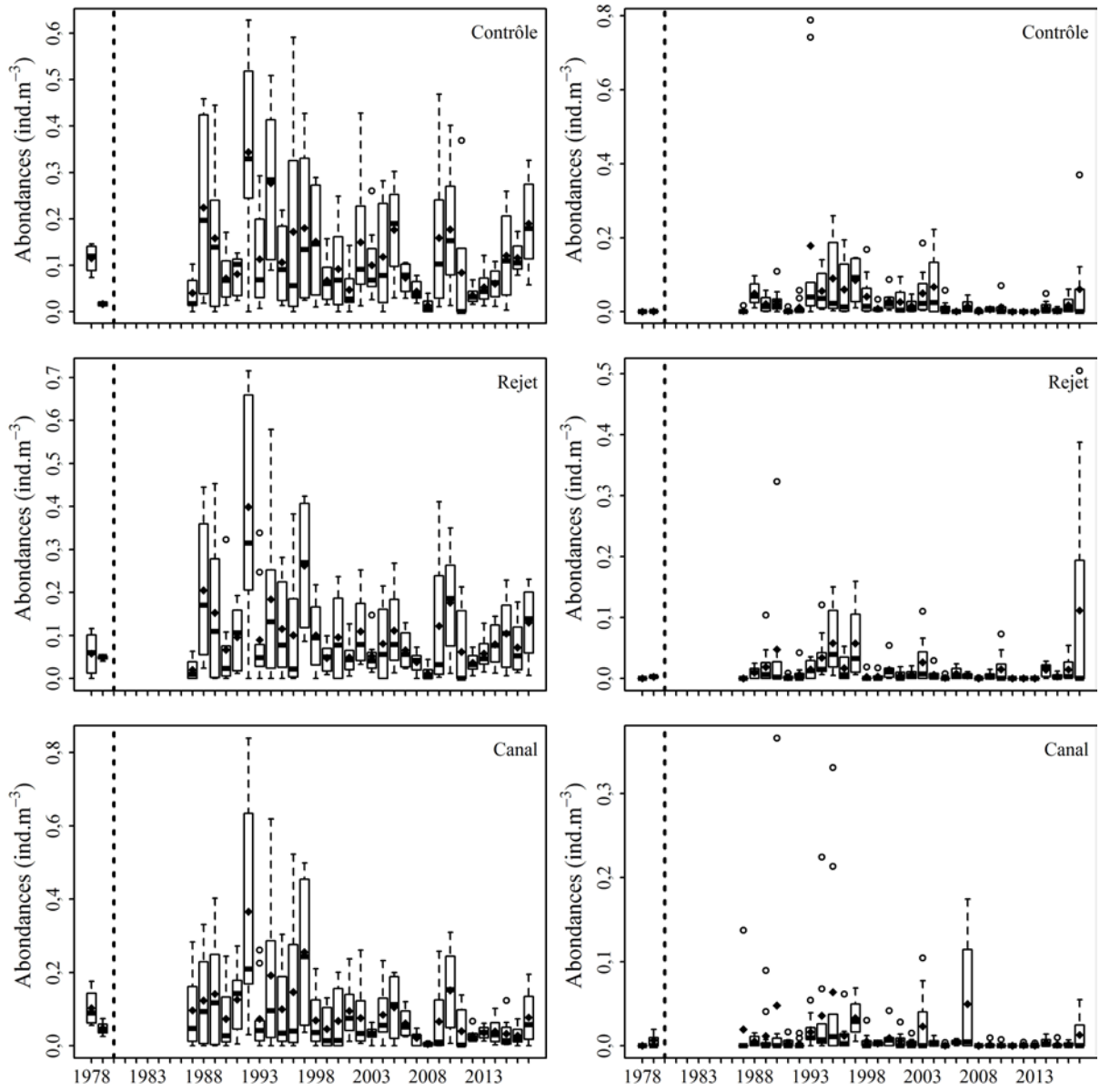


Figure 6.2 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de sole observées aux points *Canal, Rejet* et *Contrôle* du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillé).

6.1.2.2. La limande (Limanda limanda)

Les abondances d'œufs et de larves de limande pour 2017 sont présentées dans le tableau 6.3 et la figure 6.3. En 2017, les abondances les plus élevées ont été observées avec des œufs embryonnés au point *Contrôle* lors de la deuxième campagne. Lors des deux dernières campagnes, ce sont

principalement des larves qui ont été rencontrées. Les abondances étaient généralement plus élevées au point *Contrôle* qu'au niveau des autres points.

Tableau 6.3 : Abondances (ind.m^{-3}) des œufs (NE, Non Embryonnés ; E, Embryonnés) et des larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017

Date	Point	Réplicat	Total oeufs	Oeufs NE	Oeufs E	Larves
03 avril	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,01	0,01	0,00	0,00
		Moyenne	**0,01**	**0,01**	**0,00**	**0,00**
	Rejet	1	0,04	0,02	0,01	0,00
		2	0,03	0,03	0,01	0,00
		Moyenne	**0,03**	**0,02**	**0,01**	**0,00**
	Contrôle	1	0,09	0,07	0,02	0,00
		2	0,20	0,12	0,07	0,00
		Moyenne	**0,14**	**0,10**	**0,05**	**0,00**
20 avril	Canal	1	0,03	0,02	0,01	0,00
		2	0,05	0,02	0,02	0,00
		Moyenne	**0,04**	**0,02**	**0,02**	**0,00**
	Rejet	1	0,04	0,02	0,02	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,02**	**0,01**	**0,01**	**0,00**
	Contrôle	1	0,50	0,15	0,35	0,00
		2	0,43	0,15	0,29	0,00
		Moyenne	**0,47**	**0,15**	**0,32**	**0,00**
02 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,04
		2	0,04	0,04	0,00	0,00
		Moyenne	**0,02**	**0,02**	**0,00**	**0,02**
	Contrôle	1	0,04	0,00	0,04	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,08
		Moyenne	**0,02**	**0,00**	**0,02**	**0,04**
17 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,02
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,01**
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,07
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,03**

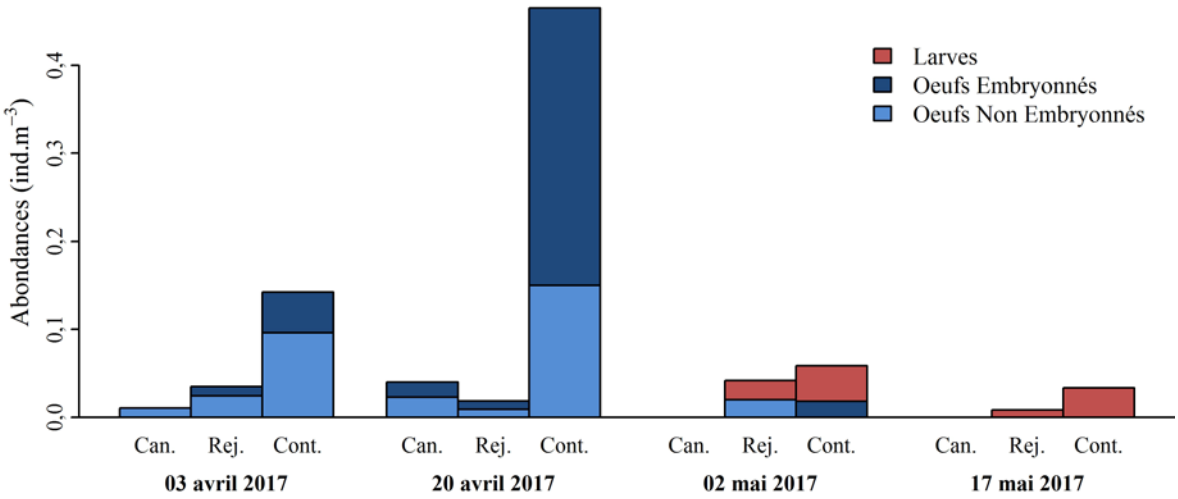


Figure 6.3 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en (ind.m^{-3}) des œufs et larves de limande sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017 en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., *Canal*; Rej., *Rejet*; Cont., *Contrôle*)

L'évolution des abondances des œufs et larves de limande observées depuis 1978 sur le site de Penly est présentée figure 6.4. Pour les œufs, l'année 2017 suit la tendance des années précédentes et confirme la présence potentielle d'œufs de limande au niveau du CNPE. Pour les larves, c'est la deuxième année consécutive où des larves sont identifiées sur le site mais les abondances restent très faibles.

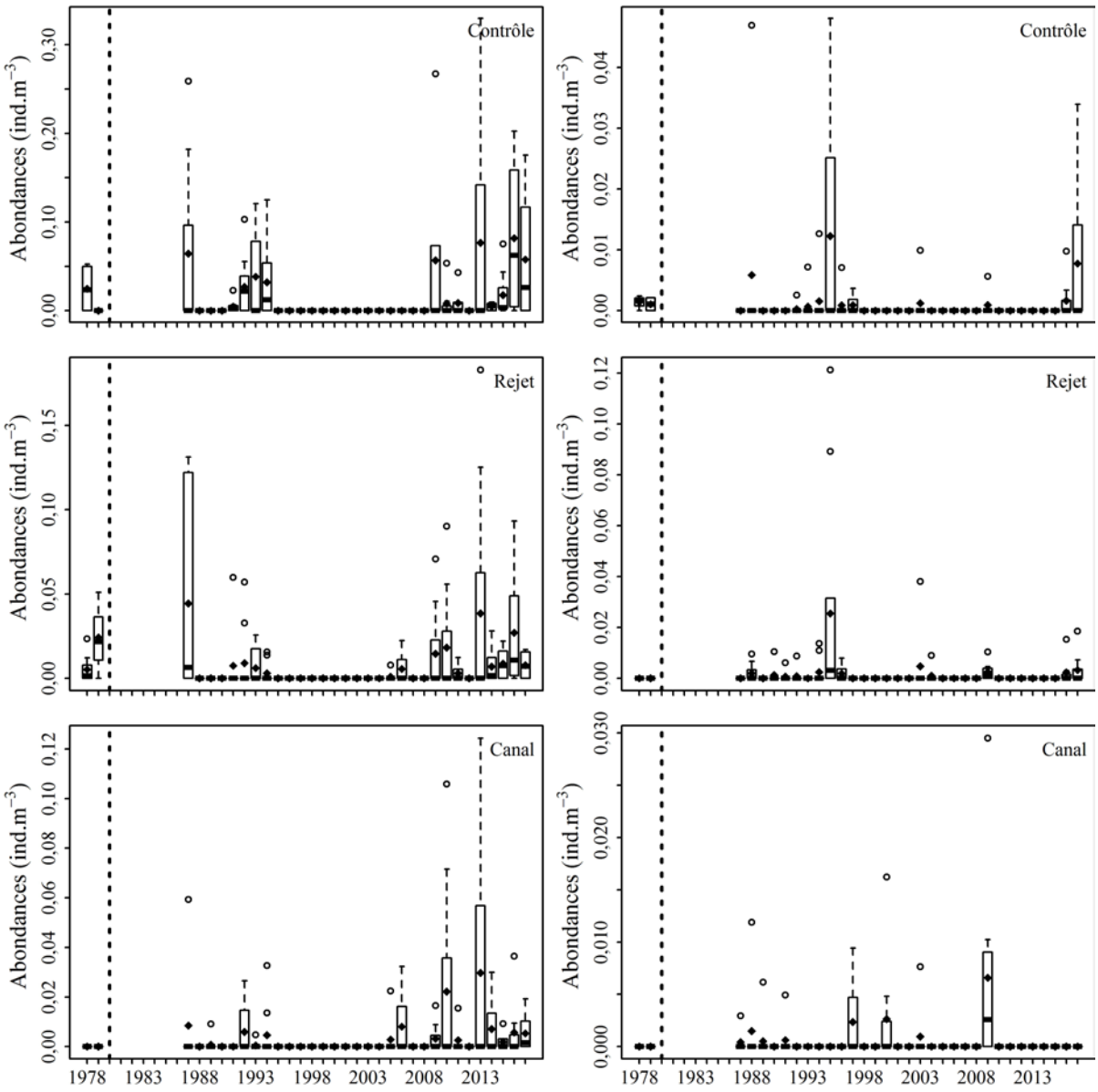


Figure 6.4 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de limande observées aux points *Canal, Rejet* et *Contrôle* du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillé).

6.1.2.3. Le sprat (S. sprattus)

Les abondances des œufs et larves de sprat pour le printemps 2017 sont présentées dans le tableau 6.4 et la figure 6.5. En 2017, les abondances les plus fortes ont été observées au point *Contrôle* lors de la troisième campagne avec majoritairement des œufs non-embryonnés. Pour les autres campagnes, les abondances étaient généralement plus élevées au point *Contrôle* et des larves ont été observées sur la plupart des campagnes.

Tableau 6.4 : Abondances (ind.m^{-3}) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017

Date	Point	Réplicat	Total oeufs	Oeufs NE	Oeufs E	Larves
03 avril	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,00**
	Rejet	1	0,02	0,02	0,00	0,04
		2	0,01	0,01	0,00	0,01
		Moyenne	**0,02**	**0,02**	**0,00**	**0,02**
	Contrôle	1	0,08	0,06	0,01	0,00
		2	0,11	0,08	0,03	0,06
		Moyenne	**0,09**	**0,07**	**0,02**	**0,03**
20 avril	Canal	1	0,01	0,01	0,00	0,00
		2	0,05	0,00	0,05	0,00
		Moyenne	**0,03**	**0,01**	**0,02**	**0,00**
	Rejet	1	0,05	0,04	0,02	0,00
		2	0,05	0,00	0,05	0,00
		Moyenne	**0,05**	**0,02**	**0,03**	**0,00**
	Contrôle	1	0,18	0,00	0,18	0,00
		2	0,19	0,09	0,10	0,00
		Moyenne	**0,19**	**0,05**	**0,14**	**0,00**
02 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,00
		2	0,00	0,00	0,00	0,09
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,04**
	Rejet	1	0,13	0,04	0,09	0,09
		2	0,12	0,08	0,04	0,12
		Moyenne	**0,13**	**0,06**	**0,06**	**0,10**
	Contrôle	1	1,44	0,75	0,68	0,32
		2	2,28	1,46	0,81	0,41
		Moyenne	**1,86**	**1,11**	**0,75**	**0,37**
17 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0,06
		2	0,00	0,00	0,00	0,00
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,03**
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0,10
		2	0,00	0,00	0,00	0,12
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0,11**
	Contrôle	1	0,25	0,05	0,20	0,20
		2	0,22	0,09	0,13	0,20
		Moyenne	**0,24**	**0,07**	**0,17**	**0,20**

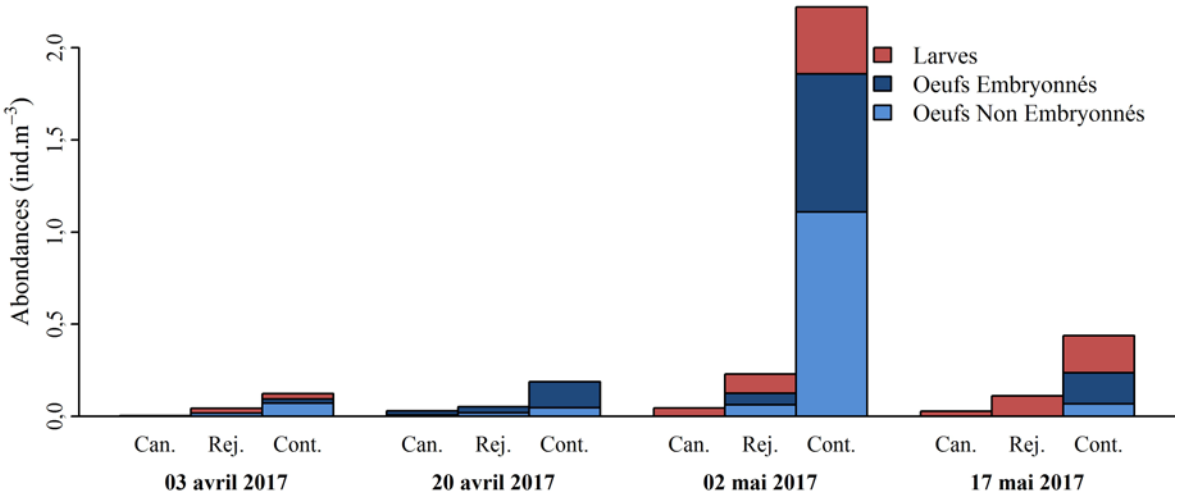


Figure 6.5 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en (ind.m^{-3}) des œufs et des larves de sprat sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017 en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., *Canal*; Rej., *Rejet*; Cont., *Contrôle*)

L'évolution des abondances des œufs et larves de sprat sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 est présentée figure 6.6. Comparativement aux années précédentes, l'année 2017 montre des abondances plus faibles (sauf pour le point *Contrôle*) qu'en 2016 même si elle poursuit la tendance d'une période de plus fortes abondances observée depuis les cinq dernières années. Pour les larves, les abondances de 2017 sont également inférieures à celles de 2016 notamment aux points *Canal* et *Rejet*. Au point *Contrôle*, l'année 2017 s'inscrit dans une tendance de plus fortes abondances par rapport à la période 2010-2013.

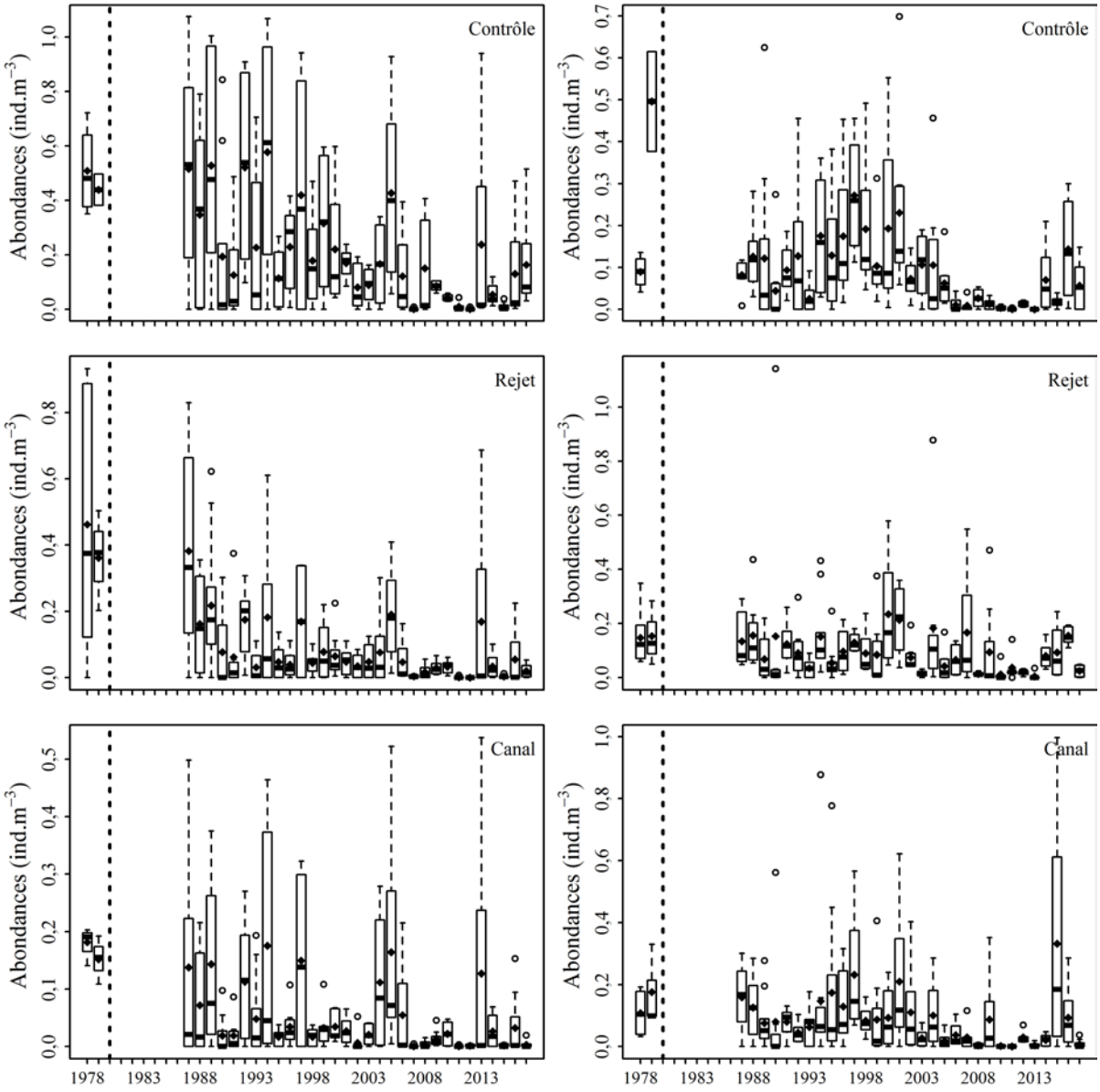


Figure 6.6 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de sprat observées aux points *Canal, Rejet* et *Contrôle* du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillé).

6.1.2.4. La sardine (S. pilchardus)

Les abondances des œufs et larves de sardine pour le printemps 2017 sont présentées dans le tableau 6.5 et la figure 6.7. En 2017, aucune larve de sardine n'a été observée pendant la période échantillonnée. Les œufs ont été observés uniquement lors des trois dernières campagnes, notamment au point *Contrôle* lors de la deuxième campagne. Ce sont majoritairement des œufs

non-embryonnés qui ont été observés et les abondances étaient plus fortes au point *Contrôle* sur l'ensemble des campagnes.

Tableau 6.5 : Abondances (ind.m^{-3}) des œufs (NE, non embryonnés ; E, embryonnés) et des larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017

Date	Point	Réplicat	Total oeufs	Oeufs NE	Oeufs E	Larves
03 avril	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0
		2	0,00	0,00	0,00	0
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0**
	Rejet	1	0,00	0,00	0,00	0
		2	0,00	0,00	0,00	0
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0**
	Contrôle	1	0,00	0,00	0,00	0
		2	0,00	0,00	0,00	0
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0**
20 avril	Canal	1	0,87	0,14	0,73	0
		2	0,56	0,08	0,48	0
		Moyenne	**0,71**	**0,11**	**0,60**	**0**
	Rejet	1	1,63	0,59	1,04	0
		2	0,76	0,31	0,44	0
		Moyenne	**1,19**	**0,45**	**0,74**	**0**
	Contrôle	1	8,69	5,78	2,91	0
		2	8,22	6,00	2,23	0
		Moyenne	**8,45**	**5,89**	**2,57**	**0**
02 mai	Canal	1	0,12	0,00	0,12	0
		2	0,04	0,04	0,00	0
		Moyenne	**0,08**	**0,02**	**0,06**	**0**
	Rejet	1	0,13	0,00	0,13	0
		2	0,24	0,08	0,16	0
		Moyenne	**0,19**	**0,04**	**0,15**	**0**
	Contrôle	1	2,91	1,51	1,40	0
		2	1,59	1,06	0,53	0
		Moyenne	**2,25**	**1,28**	**0,97**	**0**
17 mai	Canal	1	0,00	0,00	0,00	0
		2	0,00	0,00	0,00	0
		Moyenne	**0,00**	**0,00**	**0,00**	**0**
	Rejet	1	0,27	0,00	0,27	0
		2	0,30	0,06	0,24	0
		Moyenne	**0,29**	**0,03**	**0,26**	**0**
	Contrôle	1	2,92	1,40	1,52	0
		2	1,28	0,78	0,49	0
		Moyenne	**2,10**	**1,09**	**1,00**	**0**

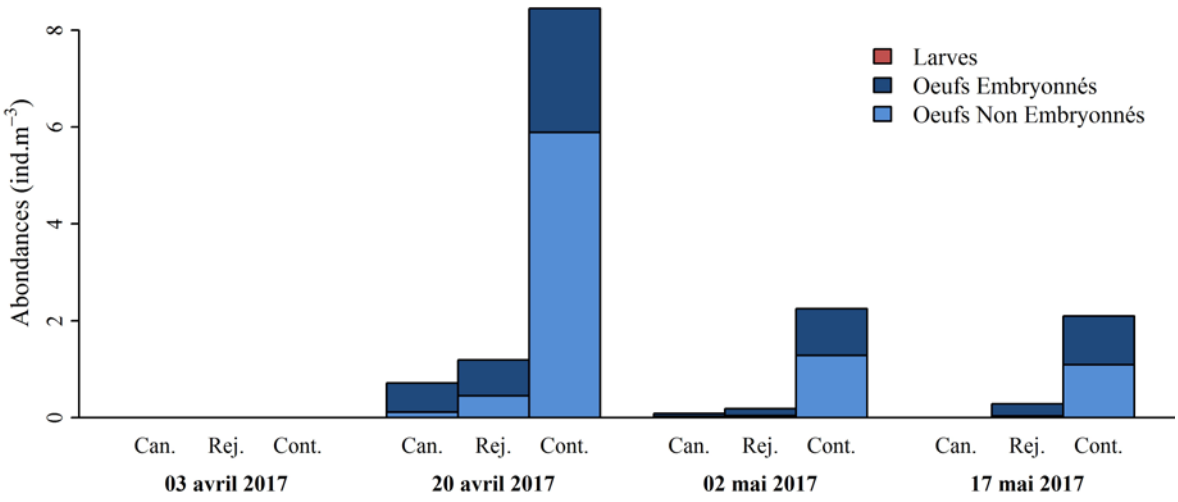


Figure 6.7 : Abondances totales (moyennes des deux réplicats en (ind.m^{-3}) des œufs et des larves de sardine sur le site du CNPE de Penly au printemps 2017 en fonction de la date et du point de prélèvement (Can., *Canal*; Rej., *Rejet*; Cont., *Contrôle*)

L'évolution des abondances des œufs et larves de sardine sur le site de la centrale de Penly depuis 1978 est présentée figure 6.8. Pour les œufs, l'année 2017 montre des abondances plus fortes que les années précédentes, notamment au point *Contrôle* et suit la tendance d'une période de plus fortes abondances observées depuis les dernières années sur l'ensemble des 4 points. Plus aucune larve de sardine n'est observée à cette période sur le site depuis 2008 (à part en 2014).

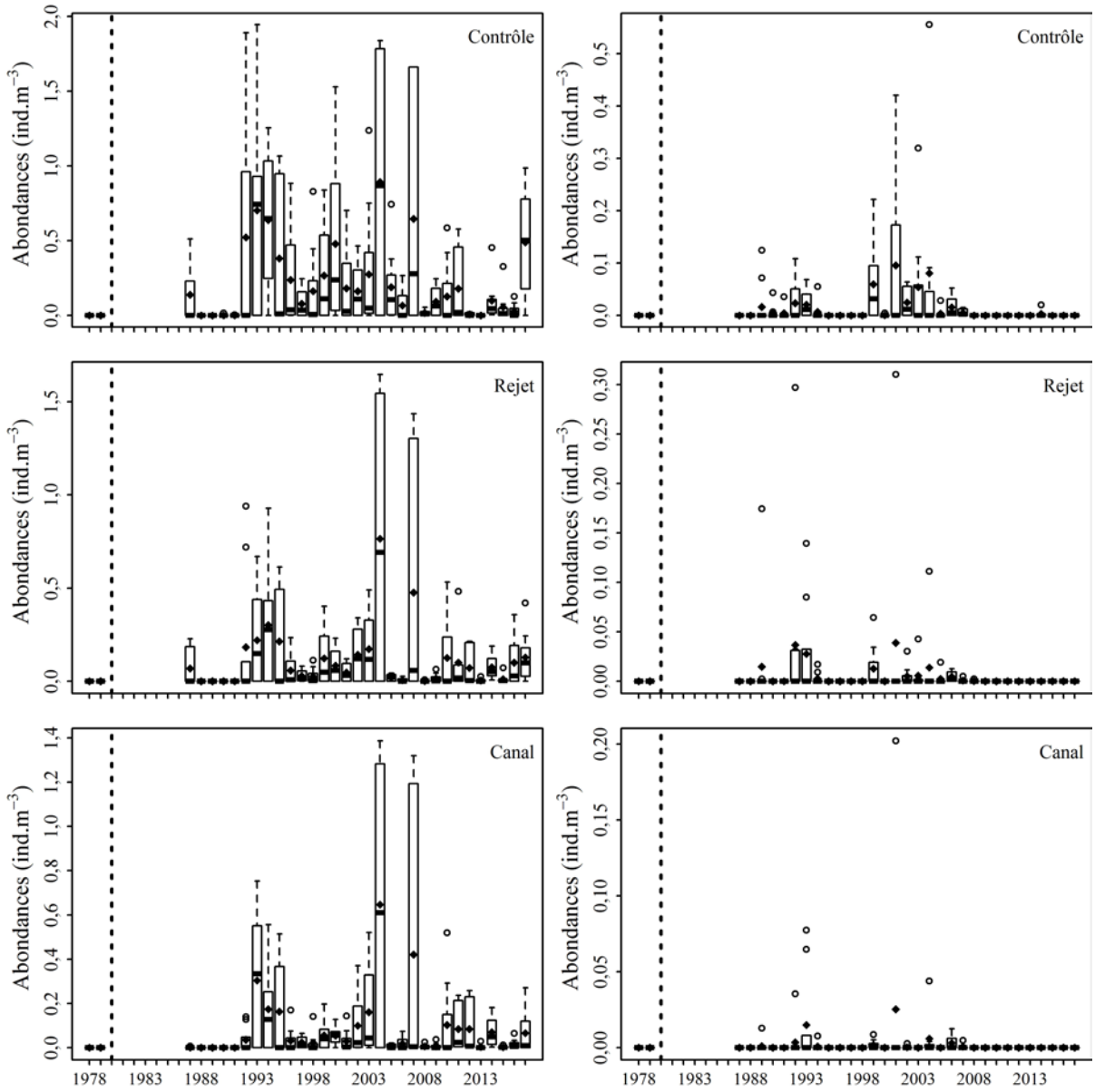


Figure 6.8 : Abondances log-transformées (ind.m^{-3}) des œufs (gauche) et larves (droite) de sardine observées aux points *Canal, Rejet* et *Contrôle* du site du CNPE de Penly entre avril et juin depuis 1978. Le suivi d'avant projet est séparé du suivi après implantation du CNPE (ligne pointillé).

6.2. Macrofaune halieutique

Les études de projet (1978-1979) ont montré qu'il existait une influence halieutique de la baie de Somme sur le secteur proche de Penly.

Cette relation se manifeste par le fait que le secteur côtier compris entre Dieppe et le Tréport fait partie d'une nourricerie pour certaines espèces de poissons, notamment pour les poissons plats comme la sole, la plie et la limande. Cette nourricerie est centrée sur la baie de Somme.

C'est cet aspect particulièrement sensible que nous avons décidé d'étudier depuis la phase de projet. Cela explique qu'en 2017 l'étude de la macrofaune halieutique se soit déroulée suivant la méthodologie mise en œuvre au cours de l'étude de projet (1979) et de son étude complémentaire (période 1980 à 1983).

Historiquement, dans un premier temps (jusqu'en 1989), 2 campagnes annuelles étaient réalisées. Depuis l'année 1990, il a été décidé de ne maintenir qu'une campagne annuelle de chalutage, en fin d'été / début d'automne. L'abandon de la campagne de printemps se justifie par le fait qu'à cette période de l'année, les juvéniles de poissons plats nés dans l'année (groupe 0), qui nous intéressent tout particulièrement dans cette étude, n'apparaissent encore que très peu dans les captures expérimentales.

6.2.1. Chronologie des prélèvements

Les prélèvements ont pu être effectués lors de la dernière semaine d'août 2017, sur trois jours de mer.

Cinquante traits de chalut ont été réalisés dans la zone d'étude (figures 6.10 C et D) dont :

- 34 à bord du chalutier *TIOT-HALLE*, avec un chalut à perche de 3 mètres.
- 16 à bord du chalutier *ORCA*, avec un chalut à perche de 2 mètres.

La stratégie d'échantillonnage stratifié, modifiée en 1999, a été maintenue. Ainsi, une certaine réallocation des points de prélèvements a été effectuée de manière à optimiser l'échantillonnage et le travail de terrain.

Si les strates du large (D, 7 et 8) ne sont plus échantillonnées depuis 1999, on continue par contre à les prendre en compte dans le calcul de la densité totale en considérant qu'une densité zéro s'applique à leur surface. Simultanément, certains traits de chalut ont été réaffectées de façon à diminuer l'effort d'échantillonnage dans la strate A et d'augmenter celui-ci dans la strate C. Ce mode de calcul permet ainsi de maintenir des indices comparables entre les différentes années.

6.2.2. Expression des résultats

Pour chaque trait de chalut, toutes les espèces de poissons, céphalopodes et crustacés, ont été identifiées et ont donné lieu aux opérations suivantes :

- dénombrement des individus, soit sur l'ensemble des captures, soit à partir d'un seul échantillon ;
- mensurations pour les espèces principales, soit sur l'ensemble des captures, soit sur un seul échantillon.

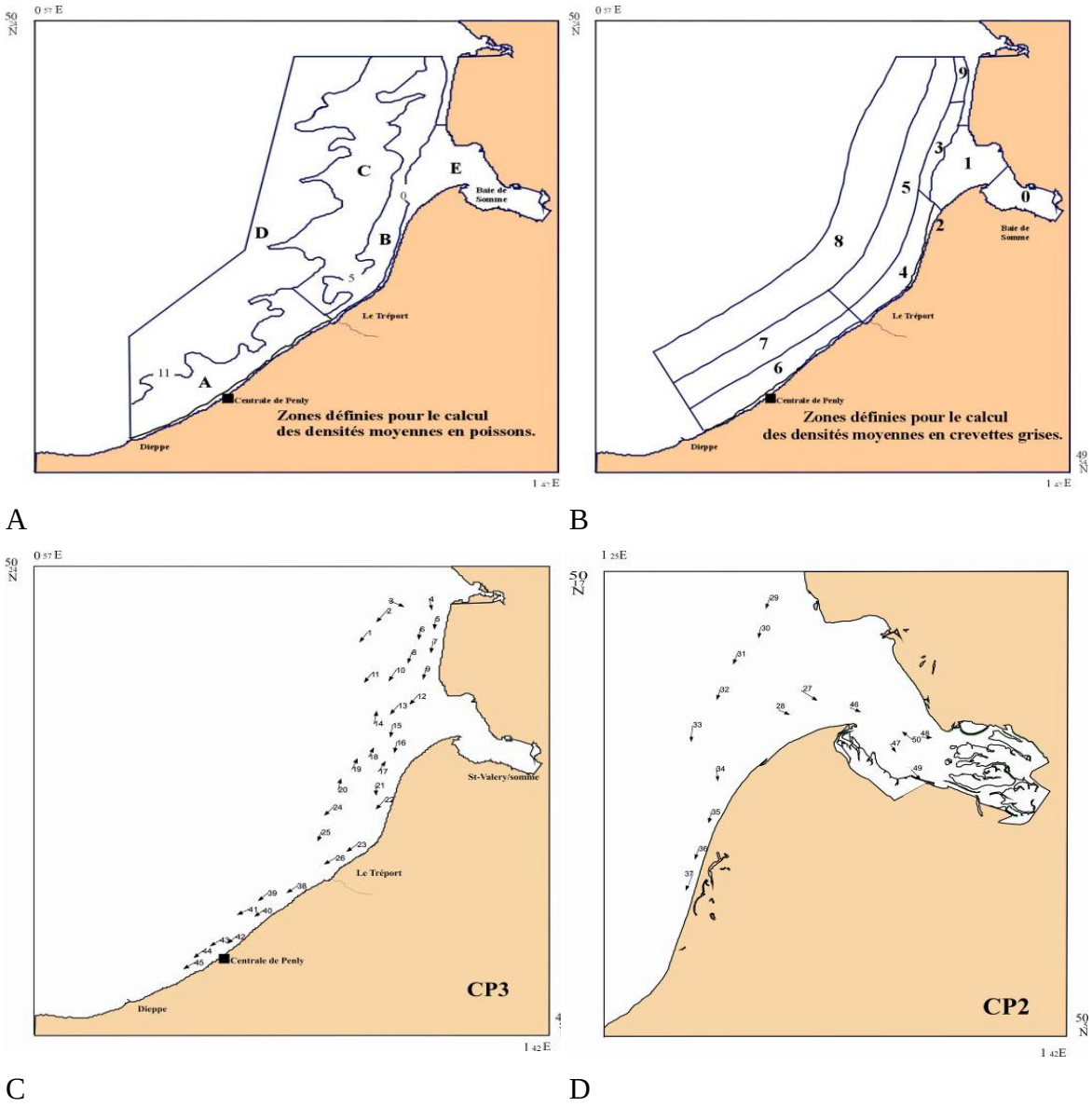


Figure 6.9: Zones définies pour le calcul des densités moyennes et positions des chalutages en 2017

Depuis 1987, seuls les poissons d'intérêt commercial sont mesurés. On utilise la longueur totale au centimètre inférieur sauf pour les clupéidés (hareng, sprat, sardine) qui sont mesurés au demi-centimètre inférieur, en raison de leur petite taille. En ce qui concerne la répartition des groupes 0 de poissons plats nous avons représenté les données en tenant compte du gradient côte large, c'est à dire en partant de l'intérieur de la baie. Ainsi la strate E est nommée intérieur, la B : extérieur et les strates situées plus au large A et C proche extérieur. Pour les crevettes grises on utilisait jusqu'en jusqu'à présent la longueur mesurée de l'échancrure de l'œil à l'extrémité du telson (L-OC-TEL) et un calibrage en quatre groupes de taille 0-24, 25-44, 45-56 et >56mm. Pour pouvoir comparer nos résultats avec ce qui se fait au niveau international dans le cadre du groupe du WGCRAN du CIEM, nous utilisons désormais la longueur totale (Lt). Une correspondance entre ces deux types de mensurations existe (Cf. ISTPM, 1981. -Etude halieutique de Projet de Site Penly. Rapport sur deux cycles annuels, Pêche et biologie des espèces) et nous a permis de recalculer l'historique des captures. La calibration présentée dans les rapports à partir de 1987 est la suivante : 00-30, 31-54, 54-67 et >67mm de longueur totale.

Les travaux suivants ont aussi été réalisés :

- des pesées globales pour chaque espèce. Dans le cas des poissons plats, les poids sont déduits des relations taille-poids établies à partir des résultats des années précédentes ;
- des prélèvements d'otolithes ont été effectués pour l'évaluation de l'âge des poissons plats au laboratoire de sclérologie Ifremer de Boulogne sur Mer (plie, sole, limande).

Les otolithes sont des pièces calcaires situées dans l'oreille interne des téléostéens (poissons osseux). Elles participent au maintien du tonus postural et à la réception des stimuli externes.
Le centre de l'otolithe est opaque, des dépôts se forment autour de ce noyau (nucleus) dès les premiers mois de la vie de l'individu et jusqu'à la fin de l'automne ou au début de l'hiver. Des matériaux hyalins se déposent alors pendant toute la période hivernale.

Les dépôts alternent ensuite suivant le rythme des saisons et la croissance du poisson. Les zones opaques correspondent aux périodes estivales à croissance rapide et les zones hyalines aux ralentissements hivernaux.

Entre la naissance et le premier ralentissement de croissance (que l'on situe par hypothèse au 1er janvier), le poisson appartient au groupe 0. A partir de la reprise de croissance, le poisson entre dans le groupe 1. A chaque nouvelle saison hivernale, il intègre le groupe supérieur.

Pour l'exploitation des données, deux types d'analyses ont été retenus :
calcul des densités par trait :
Ce type de traitement des données permet une visualisation de la répartition et de l'abondance des différentes espèces sur le secteur d'étude.

Pour chaque espèce rencontrée dans un chalutage et pour chacun des groupes d'âge, lorsque ceux-ci ont pu être identifiés, une densité en nombre d'individus pour 1000 m^2 est calculée.

densité moyenne par 1000 m^2 avec :

$$d_j = \frac{\sum P_i \times 1000}{\sum S_i}$$

P_i = nombre d'individus observés dans chaque trait i de la zone *j*

S_i = surface balayée par chaque trait i (en m^2) de la zone *j*

d_j = densité des individus (par 1000 m^2) dans la strate *j*

calcul des densités moyennes par zone :
Les densités par trait, en raison de la variabilité des valeurs, ne fournissent pas des indices d'abondance permettant de comparer sur le plan quantitatif, les différentes campagnes ou les différentes années entre elles.

Pour résoudre ce problème de comparaison, mais également pour différencier les secteurs soumis à l'influence de la tache thermique due au rejet de la centrale, nous avons eu recours au découpage de l'aire de prospection en plusieurs zones.

Ces zones ont été retenues en tenant compte à la fois de la répartition de la tache thermique et de l'écologie des juvéniles de poissons plats et de la crevette grise dont les répartitions spatiales sont en relation avec la bathymétrie. Cinq zones (ou strates), nommées de A à E ont été définies pour les poissons (figure 6.9 A) et dix (numérotées de 0 à 9) pour la crevette grise (figure 6.9 B).

La méthode de calcul à laquelle nous avons recours est employée en échantillonnage stratifié et consiste en particulier à estimer les paramètres suivants pour chaque zone :

1. nombre d'individus présents dans la strate

$$n_j = S_j \times \frac{\sum P_i}{\sum S_i}$$

avec : *Sj* = surface de la strate *j* (m^2) (estimation par planimétrie)

nj = nombre d'individus estimés pour la zone *j*

calcul des densités moyennes et production sur l'ensemble du secteur d'étude :
Comme indice de la production de l'ensemble des différentes zones nous avons utilisé la formule suivante :

2. nombre d'individus présents sur l'ensemble du secteur

$$N = \sum n_j$$

Les densités obtenues par ces méthodes de calcul ne doivent pas être considérées comme des valeurs absolues mais plutôt comme des indices d'abondance (annexe 6).

6.2.3. Résultats

En ce qui concerne la macrofaune halieutique, l'étude est principalement orientée vers le suivi des poissons plats les mieux représentés sur le site, en particulier sous leurs formes juvéniles.

Pour chaque trait de chalut, cependant, toutes les autres espèces de poissons, céphalopodes et crustacés ont été identifiées, dénombrées et pesées (annexe 5).

6.2.3.1. Poissons plats

Hormis la sole, la plie et la limande, trois autres espèces de poissons plats sont présentes, mais leurs effectifs demeurent très faibles. Il s'agit de la barbue, du turbot et du flet.

6.2.3.1.1. La sole (Solea solea, L.)

La sole est largement répandue dans l'Atlantique et les mers adjacentes, des côtes de Scandinavie au Sénégal. Espèce benthique, la sole vit de préférence sur des fonds meubles compris entre 10 et 70 m, à faciès sableux ou sablo-vaseux. De grande valeur commerciale, à chair très estimée, c'est le soléidé le plus abondant sur le site de Penly.

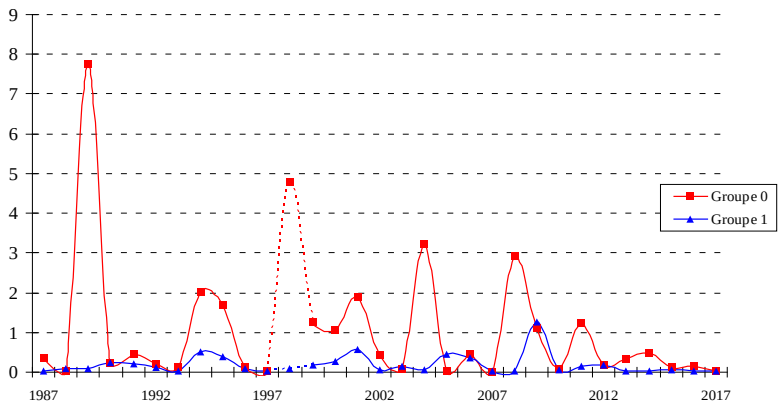
La densité en nombre d'individus par 1000 m^2 (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,08. Le cumul des captures des strates E et B représente 49,5% des captures (annexe 1)

En 2017, l'indice d'abondance global du groupe 0 est de 0,04 ind./1000 m^2 (figure 6.10). Cet indice est en très forte baisse par rapport à l'an dernier et représente l'une des valeurs les plus basses depuis le début de la série historique. La figure 6.11 montre la répartition des soles du groupe 0 selon qu'elles se situent à l'intérieur (strate E), au proche extérieur (strate B) ou à l'extérieur (strate A et C regroupées) de la baie de Somme. Classiquement ces individus sont cantonnés dans ou aux abords extérieurs de la baie avec cette année une densité de 0,67 ind./1000 m^2 (figure 6.11a) soit 100% de l'ensemble de captures (annexe 1). L'intérieur concentre, comme cela est généralement observé, la majorité de ces juvéniles.

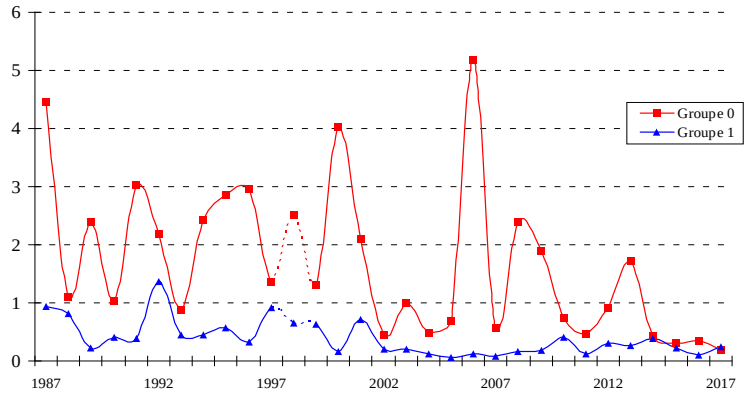
Les individus du groupe 1 ont en général une répartition dispersée sur l'ensemble des zones échantillonnées mais en 2017 la majorité des individus est capturée uniquement à l'extérieur de la baie (annexe 1). Toutefois avec 0,04 ind./1000 m^2 (annexe 1) l'indice global est l'un des plus faibles de la série historique.

Classiquement, très peu d'individus du groupe d'âge 2 sont capturés. Cette année confirme cela car aucune sole des groupes 2 et plus n'a été répertoriée pendant la campagne.

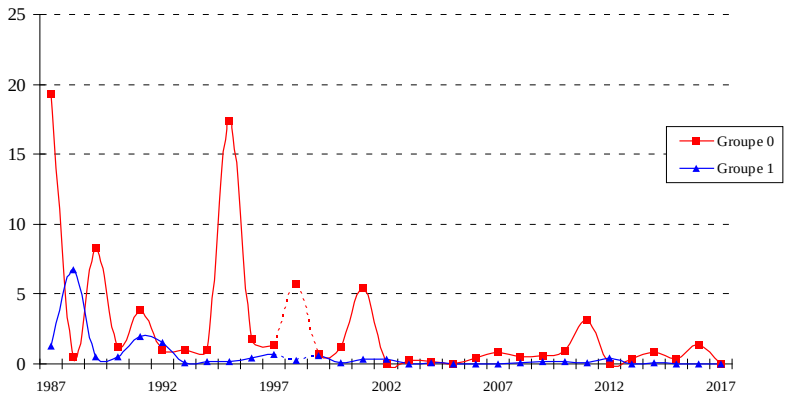
SOLE



PLIE



LIMANDE



CREVETTE

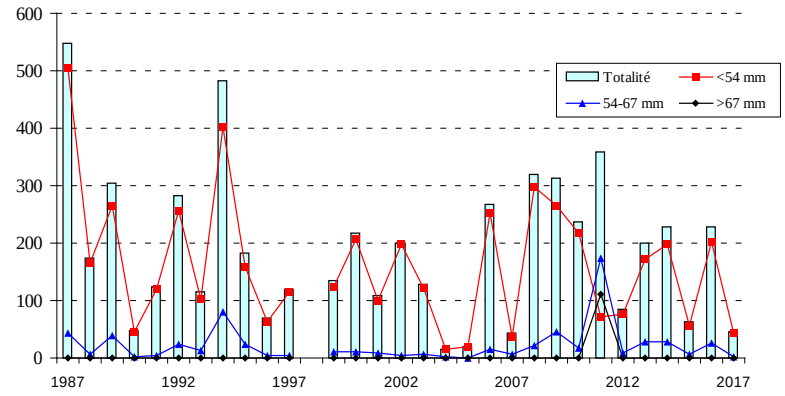
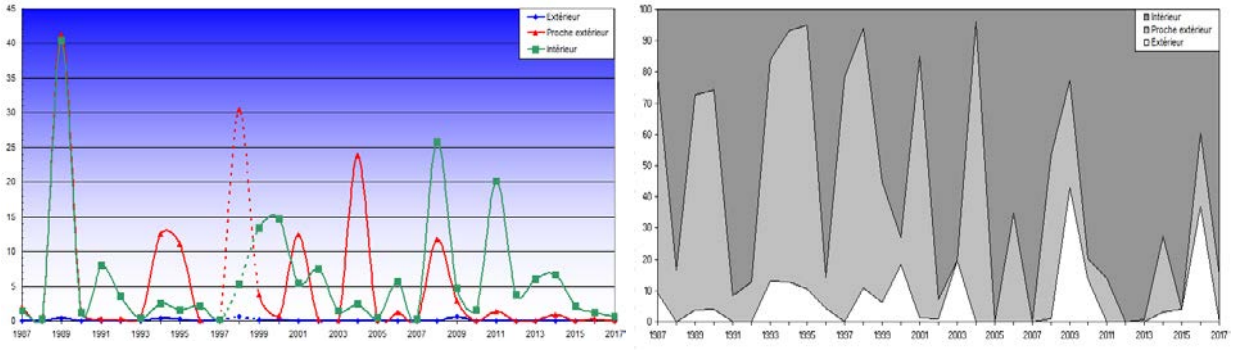


Figure 6.10: Densité moyenne à l'automne (nombre d'individus pour 1000 m^2).
(Les valeurs de 1998 sont estimées, sauf pour la crevette où elles sont manquantes)



a b

Figure 6.11 : répartition par strates des soles du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

6.2.3.1.2. La plie (Pleuronectes platessa, L.)

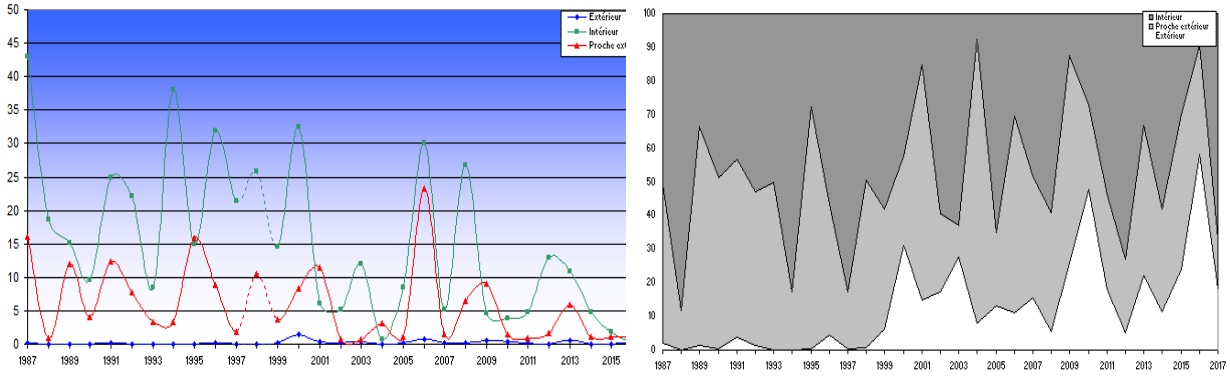
Largement distribuée dans les eaux continentales de l'Atlantique Nord, du Groenland jusqu'aux côtes de l'Afrique du Nord, la plie se reproduit en période hivernale, de décembre à mars (avec un maximum en janvier - février) sur des frayères situées au milieu de la Manche orientale et de la mer du Nord. Ce comportement de plus en plus précoce dans l'année peut expliquer l'absence d'œufs et de larves dans les pêches planctoniques côtières au printemps. Après une migration vers la côte, les juvéniles se concentrent dans des eaux peu profondes et turbides correspondant à des nourriceries.

La densité en nombre d'individus par 1000 m^2 (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,65. Le cumul des captures des strates E et B représente 22% des captures (annexe 2) totales.

L'indice d'abondance du groupe 0 est globalement de 0,17 ind./1000 m^2 (figure 6.11.). Cette valeur apparaît avec l'indice 2014 et 2016 comme étant la plus faible depuis le début de la série historique. C'est au niveau des eaux peu profondes que domine pratiquement toujours le groupe 0. Les abondances observées sont de 2,39 ind./1000 m^2 pour la strate E et de 0,12 ind./1000 m^2 pour la strate B proche extérieur (figure 6.12a). Ces deux strates représentent 80,4% des captures de ce groupe d'âge.

Le groupe 1 présente un indice global de 0,25 ind./1000 m^2, inférieur à celui constaté en 2016 et n'a pas significativement varié depuis 2000 (figure 6.10) en restant équivalent aux plus bas observés depuis cette date. La strate dominante est la strate A qui représente 50,5% des captures de ce groupe d'âge (annexe 2) alors que la strate C est très proche avec 49,1%.

Les individus plus âgés (groupes 2 et 3+) fréquentent généralement les zones situées à l'extérieur de la baie soient les strates A et C (annexe 2). La strate dominante est la strate A qui représente plus de 80% des captures de ces groupes d'âge (annexe 9).



a b

Figure 6.12 : répartition par strates des plies du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

6.2.3.1.3. La limande (Limanda limanda, L.)

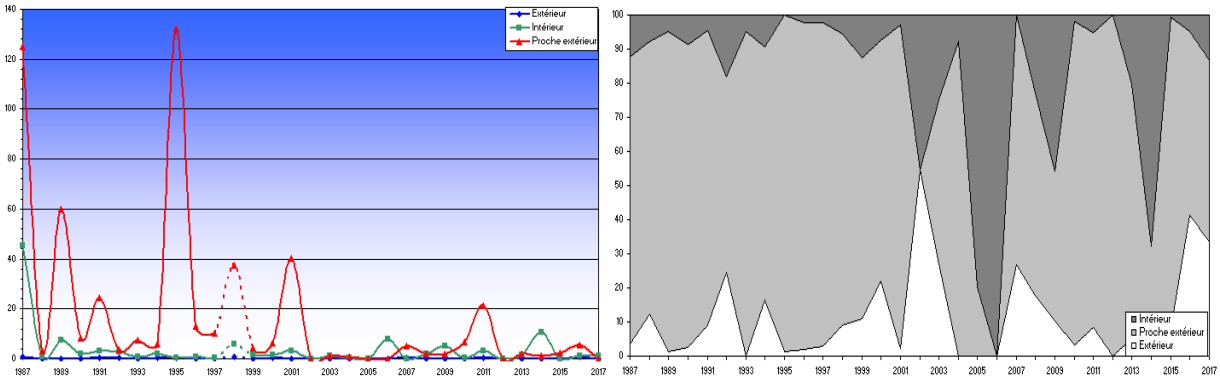
Très commune en Manche et mer du Nord, elle fréquente les fonds sableux et coquilliers où elle côtoie la plie. Le frai a lieu dans l'ensemble de l'aire de répartition de l'espèce, un peu vers le large cependant. La limande se reproduit surtout de février à avril, sensiblement à la même époque que la sole.

En 2017, La densité en nombre d'individus par 1000 m^2 (annexe 6) sur l'ensemble de la zone prospectée est de 0,1. Le cumul des captures des strates E et B représente 14,6% des captures (annexe 3).

Le groupe 0 principalement capturé dans la strate B représente 53% de l'abondance globale (figure 6.13b) de ce groupe d'âge. La densité y est de 0,08 ind./1000 m^2 et son indice global sur l'ensemble de la zone est de 0,02 ind./1000 m^2 (annexe 8). L'abondance 2017 est encore parmi les valeurs les plus basses enregistrées depuis le début de la série historique (figure 6.11).

Le groupe 1 généralement capturé dans toutes les strates se situe principalement, cette année, dans les strates A et C avec respectivement 0,03 et 0,11 ind./1000 m^2. Il représente, lui aussi, l'indice d'abondance global le plus faible de la série historique.

Quelques individus d'âge supérieur (groupe 3^+) ont été principalement observés cette année dans la strate C.



a b

Figure 6.13 : répartition par strates des limandes du groupe 0 (Strate E non représentative en 1998)

6.2.3.1.4. Barbue (Scophthalmus rhombus, L.)

Les barbues du groupe 0 ont été capturées dans la strate E (0,16 ind./1000m^2). Aucun individus du groupe 1 n'a été pêché en 2017 (annexe 8). La densité moyenne totale (annexe 6) sur l'ensemble de la zone est inférieur à 0,01 ind./1000 m^2.

6.2.3.1.5. Turbot (Psetta maxima, L.)

L'essentiel des turbots du groupe 0 a été capturé cette année dans la strate E. Aucun individu plus âgé n'a été capturé dans l'ensemble de la zone (annexe 9). La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est de 0,08 ind./1000 m^2. La strate E représente un peu plus de 60% des captures totales (annexe 7).

6.2.3.1.6. Flet (Platichthys flesus, L.)

Aucun flet n'a été capturé en 2017.

6.2.3.2. Autres espèces de poissons

6.2.3.2.1. Le sprat (Sprattus sprattus, L.)

On trouve le sprat sur le plateau continental du nord-est de l'Atlantique, depuis le nord de la Norvège jusqu'en Méditerranée et mer Noire où il rencontre les températures et les salinités les plus favorables à sa ponte et son développement. Le sprat ne fait pas l'objet d'une exploitation commerciale dans le secteur de Penly, bien que l'abondance de cette espèce, au voisinage du site, au moment de la reproduction soit loin d'être négligeable, compte tenu de l'importance du frai.

Des sprats du groupe 1^+ ont été capturés cette année dans la strate E qui représente 100% des captures (annexe 9). La densité moyenne totale sur l'ensemble de la zone est inférieure à 0,01 ind./1000 m^2.

6.2.3.2.2. Le hareng (Clupea harengus, L.)

Pour cette espèce pélagique, seuls des juvéniles du groupe 1+ ont pu être observés. Ils ont été capturés essentiellement dans la baie de Somme avec une densité de 11 ind./1000 m^2. La densité moyenne globale sur l'ensemble de la zone étudiée est de 0,58 ind./1000 m^2.

6.2.3.2.3. La sardine (Sardina pilchardus, Walbaum)

Dans l'Atlantique nord-est, la sardine est largement répandue des Açores à la mer du Nord méridionale. D'après les caractères méristiques (longueur de la tête/longueur totale, nombre de vertèbres) on peut distinguer deux populations :

- la sardine ibérique ou atlantique méridionale s'étendant de Gibraltar au Golfe de Gascogne,
- la sardine atlantique septentrionale se trouvant du nord du Golfe de Gascogne à la Mer du Nord.

Aucun juvénile n'a été capturé en 2017.

6.2.3.2.4. Le merlan (Merlangius merlangus, L.)

Cette espèce démersale côtière marquant une préférence pour les fonds meubles à faible profondeur (25 à 100 m) est très commune en Manche et dans le sud de la Mer du Nord. Elle fait l'objet d'une exploitation commerciale importante.

La strate C regroupe un peu plus de 79% (annexe 7) des captures totales avec une abondance de 0,21 ind./1000 m^2.

Les individus du groupe 0 ont été prélevés majoritairement dans la strate C, avec un indice d'abondance de 0,16 ind./1000 m^2 (annexe 8). Les individus d'âge supérieur (groupe 1) ont aussi majoritairement été observés dans la strate C (0,05 ind./1000 m^2).

6.2.3.2.5. Le tacaud (Trisopterus luscus, L.)

Les individus pêchés dans la strate C appartiennent tous au groupe 0. Les captures sont faibles cette année encore avec 0,03 ind./1000 m^2, ce qui représente 92% des captures. La densité moyenne calculée sur l'ensemble de la zone est de 0,01 ind./1000 m^2.

6.2.3.2.6. Divers poissons

Au cours des chalutages, plus d'une trentaine d'autres espèces de poissons ont été capturées. Ces espèces ne feront l'objet d'aucun commentaire, seuls leurs noms et leurs indices d'abondance sont présentés en annexe 6.

6.2.3.3. Les crustacés

6.2.3.3.1. La crevette grise (Crangon crangon, L.)

Cette espèce qui est commune en Manche sur les fonds sablo-vaseux côtiers présente une croissance rapide et un taux de renouvellement important. Les auteurs, en règle générale,

s'accordent pour estimer que la crevette grise peut avoir plusieurs périodes de ponte dans l'année, d'une à trois (Tiews, 1967, Meixner, 1968).

En 2017, la densité moyenne globale sur l'ensemble du secteur est de 45,5 ind./1000 m^2 (annexe 10). Elle est en forte diminution par rapport à ce qui avait été observé en 2016 (figure 6.10) et représente le plus faible indice calculé depuis les dix dernières années. L'essentiel des captures (90%) a été réalisé à l'intérieur de la Baie de Somme (strates 0, 1 et 2). Ces strates représentent 86% des individus dont la taille est inférieure 31 mm et 90,4% de ceux capturés entre cette taille et 54 mm. L'indice d'abondance de la classe 54 à 67 mm est de 173 ind./1000 m^2 dans la strate 0. L'indice le plus important est celui de la classe intermédiaire avec 1944 ind./1000 m^2. Il est en diminution par rapport à 2016 et se situe au niveau des plus faibles indices observés depuis le début de la série historique. Aucun individu de plus de 67mm n'a été capturé en 2017.

6.2.3.3.2. L'étrille (Macropipus puber, C.)

L'étrille est un crabe très commun en Manche et en Atlantique, qui donne lieu par endroits à une pêche artisanale. Les zoés de *Necora puber* sont abondantes dans le plancton de printemps et d'été, les mégalopes étant plus fréquentes en été (Lebour, 1928). À l'âge d'un an, leur longueur est de 30 mm (Wilhelm, 1995).

En 2017, les indices d'abondance les plus élevés sont observés dans les strates C et E avec respectivement 0,08 et 0,21 ind./1000 m^2 ce qui représente plus de 96% de l'abondance totale.

6.3. Conclusions

Comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2017. L'année 2017 semble confirmer l'augmentation de ces deux espèces déjà observée depuis quelques années. Cette année, ceci est particulièrement vrai pour la sole et un peu moins pour le sprat. Cependant, la comparaison inter-annuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable entre les années de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre. La limande et la sardine ne sont pas des espèces importantes en termes d'abondance d'œufs et de larves de poissons sur le site du CNPE de Penly. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés.

Nous ne pouvons pas conclure sur l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des espèces suivies dans la communauté ichtyoplanctonique en 2017.

Globalement en 2017 les indices d'abondance des deux premières espèces de poissons plats (sole et plie) sont au plus bas depuis le début de la série historique. Ceci principalement à cause de la faiblesse de captures d'individus du groupe 0, de la baisse de ceux du groupe 1 et de la transparence de l'eau qui ne favorise pas le déplacement de ces jeunes individus devenus des proies facilement accessibles dans ces conditions.

La campagne 2017 se caractérise par une très faible quantité d'autres poissons plats capturés et représente par conséquent avec les trois années précédentes, l'une des campagnes les moins productives de la série historique. La répartition géographique des jeunes classes d'âge est toutefois similaire à celle observée depuis cette date.

La densité globale en crevettes grises observée en 2017 diminue fortement pour se situer parmi les plus faibles indices enregistrés pendant ces campagnes de prospections. Ils sont le reflet d'une très

mauvaise saison de pêche. La répartition géographique de cette espèce reste malgré tout comparable à celle des années antérieures, à savoir, à l'intérieur de la baie de Somme ou à son abord immédiat.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment macrofaune halieutique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

7. Conclusions

Physico-chimie, chimie

Pour 2017, les paramètres suivis dans le cadre de la surveillance du compartiment pélagique ne présentent pas de profils atypiques en regard de ce qui est habituellement observé. Les différences spatiales entre les points de suivis (et le point *Référence* en particulier) mettent le plus souvent en évidence un gradient côte-large caractéristique de la variabilité naturelle du milieu à Penly. Si les écarts **thermiques** entre la station "*Rejet*" et les stations "*Référence*" et "*Contrôle*" observés en 2017 peuvent être considérés comme importants, les taux de dilution compris entre 70 et 80 % démontre un pouvoir de dispersion et de dilution important quel que soit la saison.
Le suivi 2017 de l'ensemble des **sels nutritifs** ne montre pas de tendance unique applicable à chaque nutriment. Les valeurs estivales de nitrate montrent des niveaux de consommation de nutriments classique malgré des valeurs printanières apparentes plus élevées qu'habituellement et une recharge effective en automne. Les taux élevés d'oxygène dissous au printemps coïncident avec la faible teneur de biomasse chlorophylienne et le retard du bloom printanier. En conséquence les stocks hivernaux de sels nutritifs sont toujours présents dans le milieu lors de la campagne de printemps. Malgré cette particularité, le cycle saisonnier attendu est ainsi respecté pour tous les nutriments excepté pour l'ammonium. Les faibles niveaux observés, l'homogénéité saisonnière au point *Référence* et l'absence de cycle saisonnier marqué pour ce nutriment le distingue des autres sels.
En dehors de l'élévation de la température aux abords immédiats des bouches de rejets, les valeurs observées cette année s'inscrivent dans l'intervalle de celles enregistrées depuis le début du suivi soit deux ans avant la mise en fonctionnement du site de Penly. Les autres paramètres suivis présentent des valeurs et des variations expliquées par la saisonnalité, l'environnement climatique et géomorphologique.
L'étude des paramètres suivis dans le compartiment physico-chimie ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

Phytoplancton

L'année 2017 apparaît comme une année assez marquée par de faibles valeurs de production primaire potentielle sur l'ensemble de la zone, et ceci au cours des différentes campagnes d'échantillonnage. Ceci traduit une activité photosynthétique peu intense des cellules phytoplanctoniques à proximité du CNPE de Penly. Cette faible activité peut être corrélée avec les abondances phytoplanctoniques et la chlorophylle *a* dont les valeurs sont inférieures à la médiane au printemps et en été.
Ces faibles valeurs peuvent en partie être expliquées par un début de saison tardif. Les concentrations en nutriments disponibles dans le milieu étant au printemps, supérieures à la moyenne laissent supposer que le bloom printanier n'était pas encore démarré lors de la campagne de mars.
Les débits des fleuves côtiers en mars, légèrement supérieurs à la moyenne et surtout supérieurs aux très faibles débits de janvier et février, sont à l'origine d'apports importants en éléments nutritifs (azote, silicate et phosphate) au cours du printemps sur la zone proche du CNPE de Penly (cf. chapitre 2, p.**Erreur ! Signet non défini.**).

À l'instar des années précédentes, l'année 2017 a été marquée par une large dominance des diatomées sur l'ensemble de la zone à proximité du CNPE de Penly, avec une évolution de la composition de la communauté de diatomée de la côte vers le large, marquée par la dominance de *Thalassiosira levanderii*.
Le cycle saisonnier du phytoplancton ainsi que la structure des communautés phytoplanctoniques observées en 2017 ne présentent pas de caractéristiques pouvant mettre en cause l'activité du CNPE de Penly. L'évolution dans le temps de ces paramètres semble cohérente avec les connaissances que nous avons de ces paramètres en Manche.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment phytoplanctonique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

Microbiologie

Si les germes totaux montrent, en 2017, des niveaux légèrement plus élevés que les années précédentes, la fraction revivifiable reste parmi les plus faibles observées ces dernières années. La variabilité spatiale observée entre les points est très limitée, et peu significative du point de vue écologique.
Le cycle saisonnier des vibrions halophiles observé en 2017 reste conforme à ce qui est généralement observé sur ce site. Toutefois, les premiers vibrions observés au printemps 2017 n'étaient présents que sur le point Référence. Cette situation est plutôt rare et ne peut être rapprochée que de 2007 et 2012.
L'étude des paramètres suivis dans le compartiment microbiologique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

Zooplancton

Les données historiques acquises depuis 1993 indiquent que la biomasse sestonique au point *Canal* est significativement plus faible en été que celles des autres points. De plus, les rapports C/N plus élevés observés au point *Canal*, en lien avec des biomasses en azote plus faibles, semblent indiquer une plus forte concentration en matière minérale dans la colonne d'eau en raison de sa faible profondeur (4 à 5 m). Bien que les rapports C/N pour les autres points de prélèvement montrent que la biomasse sestonique est essentiellement composée de zooplancton, cette année encore, les tendances observées sur la biomasse sestonique ne reflétaient pas les observations sur les abondances zooplanctoniques. Ces rapports C/N du seston montrent bien la difficulté qu'il y a à déduire, ou estimer, la biomasse du zooplancton, *sensu stricto*, à partir de ce type d'analyse. La contamination des échantillons filtrés par des débris minéraux, végétaux ou coquilliers dans un environnement sous fort hydrodynamisme où la remise en suspension des sédiments est importante, est trop aléatoire pour pouvoir avoir une estimation fiable de la biomasse zooplanctonique. La composition zooplanctonique est également un facteur important faisant varier la biomasse sestonique. Par exemple, en mars la biomasse sestonique présentait, à l'inverse de l'abondance, un gradient décroissant du point *Canal* vers le point *référence*, du fait de la prolifération des larves de cirripèdes (balanes). Ces larves sont très petites et ne représentent pas une biomasse importante par rapport à la biomasse planctonique constituée par l'ensemble des autres crustacés, beaucoup plus lourds, tels que les copépodes. Au mieux, l'analyse de la biomasse sestonique nous donne-t-elle une appréciation de la charge particulaire (seston > 100 µm) sur le site de la centrale de Penly lors des prélèvements.
Les abondances zooplanctoniques observées en 2017 étaient globalement dans la moyenne des valeurs observées depuis 1993 et montrent toujours des abondances significativement plus faibles au point *Canal* par rapport aux autres points de prélèvement. La situation géographique particulière de ce point (faible profondeur, enclavement) et la charge en particules sédimentaires expliquent ces faibles abondances. La campagne du mois de mars se distingue toujours des deux autres campagnes par la proportion importante de larves méroplanctoniques, alors que dans les échantillons de juin et septembre ce sont les organismes holoplanctoniques, copépodes, appendiculaires et chaetognathes, qui dominent la communauté zooplanctonique.
Les abondances de la groseille de mer, *Pleurobrachia pileus*, ne présentaient pas de risque d'entraîner le colmatage des systèmes de refroidissement du CNPE. Mais cette année, a toutefois mis en évidence que des concentrations plus fortes pouvaient apparaître au printemps (avril-mai), au *large* comme au point *Canal*. Il faut donc rester vigilant sur les risques de prolifération de cette espèce au printemps.
La diversité spécifique des copépodes était faible ($\leq$ 2,3 Bit. ind^{-1}) et composé en général de moins d'une dizaine d'espèces dont une seule peut représenter jusqu'à 78 % du peuplement. Les copépodes appartenant à l'ordre des calanoides, typiquement pélagiques (*Acartia*, *Temora*, *Centropages* et *Paracalanus*) étaient plus abondants au large, alors qu'*Euterpina acutifrons* qui est une espèce d'harpacticoide pélagique vivant plus en relation avec le sédiment était plus abondante à la côte. A noter cette année, la première observation sur le site de Penly d'une espèce non-indigène,

Pseudodiaptomus marinus, copépode asiatique, signalé pour la première fois en France en 2010 sur le site de Gravelines.
L'abondance et la succession des espèces zooplanctoniques observées cette année respectent, pour ce que peut montrer cette analyse de trois campagnes annuelles, leur répartition saisonnière habituelle et sont caractéristiques des milieux côtiers tempérés de la Manche et de la baie sud de la Mer du Nord. Aux trois périodes d'observations, les valeurs enregistrées depuis 1993 au niveau du rejet en mer s'inscrivent dans l'intervalle de celles des points *Contrôle* et *Référence*. L'influence des rejets du CNPE de Penly sur le milieu n'est donc pas décelable par la variabilité spatio-temporelle de la population zooplanctonique.

Halieutique

Comme pour les années précédentes, sur les quatre espèces ciblées de l'ichtyoplancton, la sole et le sprat étaient les plus abondants sur le site du CNPE de Penly en 2017. L'année 2017 semble confirmer l'augmentation de ces deux espèces déjà observée depuis quelques années. Cette année, ceci est particulièrement vrai pour la sole et un peu moins pour le sprat. Cependant, la comparaison inter-annuelle des abondances reste délicate du fait du décalage probable entre les années de la période de ponte des espèces cibles en fonction des conditions environnementales. Le nombre limité de campagnes d'échantillonnage ne permettant pas de couvrir toute la période de présence des œufs et larves, ceci peut conduire à une interprétation erronée des abondances observées d'une année à l'autre. La limande et la sardine ne sont pas des espèces importantes en termes d'abondance d'œufs et de larves de poissons sur le site du CNPE de Penly. Comme pour les années précédentes, il faut noter une quantité non négligeable d'œufs et de larves d'autres espèces présentes dans les échantillons collectés.
Nous ne pouvons pas conclure sur l'existence d'un déséquilibre du milieu, généré par l'activité du CNPE de Penly, à partir de l'étude des espèces suivies dans la communauté ichtyoplanctonique en 2017.

Globalement en 2017 les indices d'abondance des deux premières espèces de poissons plats (sole et plie) sont au plus bas depuis le début de la série historique. Ceci principalement à cause de la faiblesse de captures d'individus du groupe 0, de la baisse de ceux du groupe 1 et de la transparence de l'eau qui ne favorise pas le déplacement de ces jeunes individus devenus des proies facilement accessibles dans ces conditions.

La campagne 2017 se caractérise par une très faible quantité d'autres poissons plats capturés et représente par conséquent avec les trois années précédentes, l'une des campagnes les moins productives de la série historique. La répartition géographique des jeunes classes d'âge est toutefois similaire à celle observée depuis cette date.

La densité globale en crevettes grises observée en 2017 diminue fortement pour se situer parmi les plus faibles indices enregistrés pendant ces campagnes de prospections. Ils sont le reflet d'une très mauvaise saison de pêche. La répartition géographique de cette espèce reste malgré tout comparable à celle des années antérieures, à savoir, à l'intérieur de la baie de Somme ou à son abord immédiat.

L'étude des paramètres suivis dans le compartiment macrofaune halieutique ne met pas en évidence une influence des rejets d'eau de refroidissement des circuits secondaires du CNPE de Penly sur le milieu marin environnant.

Annexes

PARAMETRE CHIMIQUE QUANTITATIF	
Chlorophylle *a*	Code: [787]

Méthode d'analyse : Spectrophotométrie trichromatique - Chlorophylle / Aminot et Kérouel 2004

Références : Aminot A. Kérouel R. 2004. Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 pages

Définition : Pigment phytosynthétiquement actif contenu dans les organismes phytoplantoniques en suspension dans un volume d'eau.

. Principe

La mesure des concentrations en chlorophylle-*a* et phéopigments s'effectue par dosage monochromatique par spectrophotométrie après filtration, dilacération du filtre dans l'acétone et trempage pendant une nuit. La lecture spectrophotométrique se fait à 665 nm pour la chlorophylle et à 750 nm pour déterminer le blanc de turbidité de l'échantillon, avant et après acidification qui permet de dégrader la chlorophylle en phéopigments.

. Filtration

Filtrer sur GFF Whatman 47mm, jusqu'à coloration du filtre et conserver ce dernier jusqu'à un mois au congélateur à –25°C et jusqu'à 6 mois au congélateur à –80°C.

. Extraction des pigments

L'extraction des pigments doit être réalisée dans la pénombre, rideaux descendus, sans lumière artificielle
Ajouter 5 mL d'acétone à 90 % dans le tube à centrifuger contenant le filtre.
Broyer le filtre et ajouter 5 mL d'acétone à 90 % dans le tube à centrifuger en rinçant la spatule en inox.
Placer le tube au réfrigérateur pendant quelques heures à une nuit.
Centrifuger les tubes

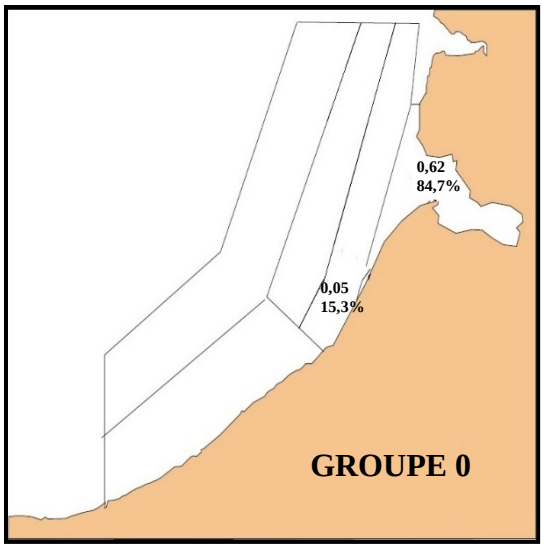
. Mesure spectrophotométrique

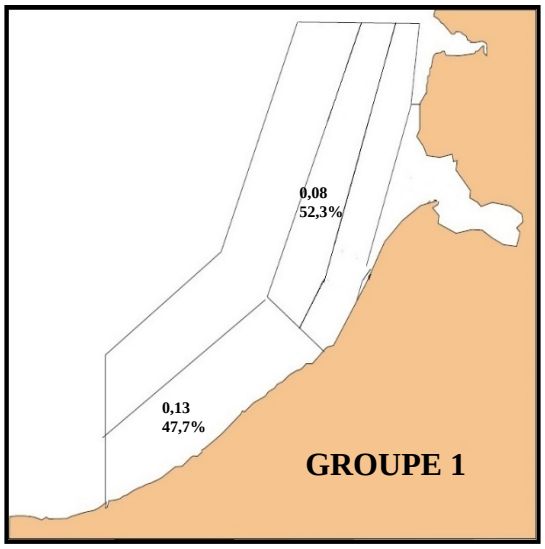
Lancer la mesure à 665 nm (A^{na}_{665}) puis à 750 nm (B^{na}_{750}) (blanc de turbidité de l'échantillon non acidifié).
Acidifier l'échantillon en ajoutant l'acide chlorhydrique. Attendre environ 2 min 30 puis mesurer les absorbances à 665 nm (A^{a}_{665}) et 750 nm (B^{a}_{750}) (blanc de turbidité de l'échantillon acidifié).

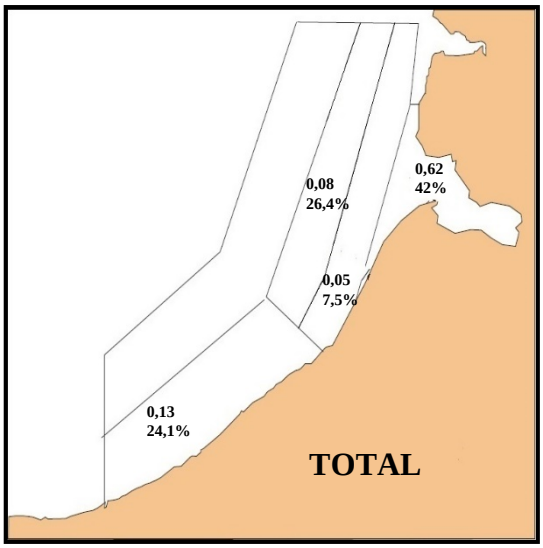
. Calcul de la concentration

La concentration en chlorophylle (µg/L) est = $[27,7 * (A_{\text{non acidifiée}} - A_{\text{acidifiée}}) * v] / (V * l)$
La concentration en phéophytine (µg/L) est = $[27,7 * (1,7\ A_{\text{acidifiée}} - A_{\text{non acidifiée}}) * v] / (V * l)$
Avec v, le volume d'acétone 90 % en mL
V, le volume d'échantillon filtré en L
l, la longueur de la cuve de mesure en cm (5 cm)

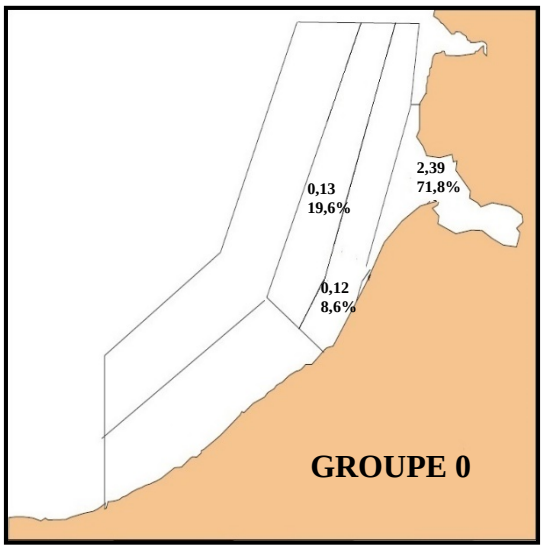
Annexe A : Analyse de la chlorophylle *a* effectuée selon la méthode mono-chromatique de Lorenzen (1967)

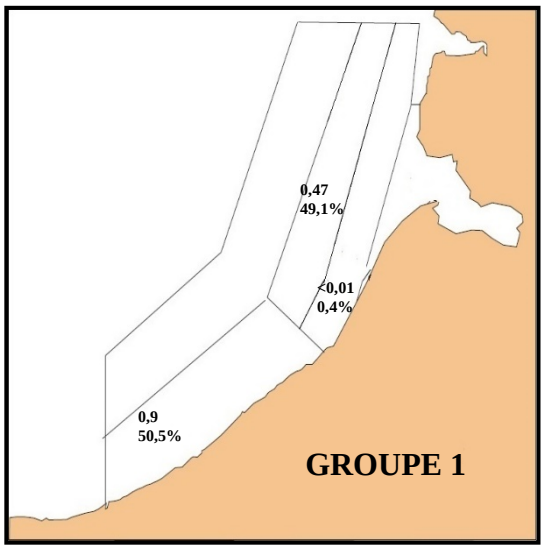


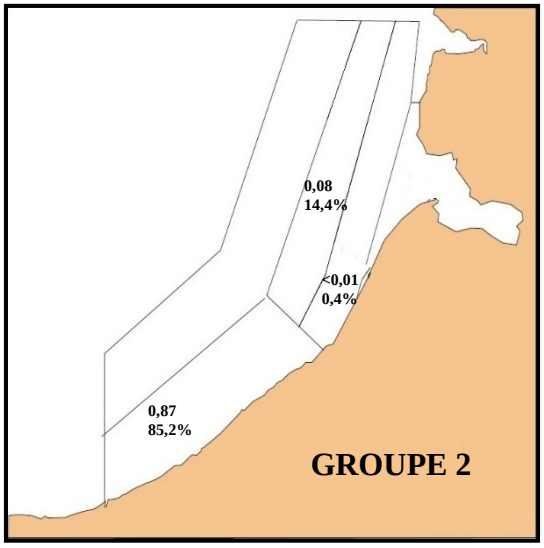


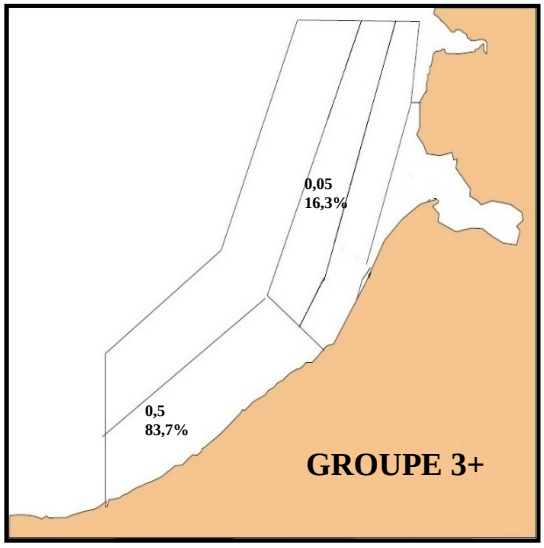


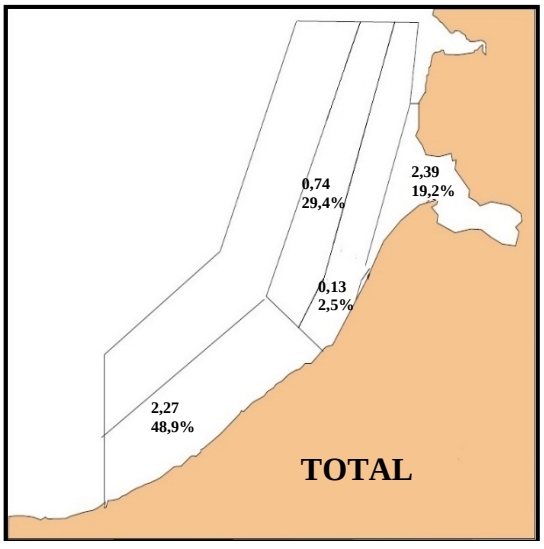
Annexe 1 : SOLE – août 2017
Densités moyennes par strates (nb / 1000 m2) et pourcentages par rapport à l'abondance totale.



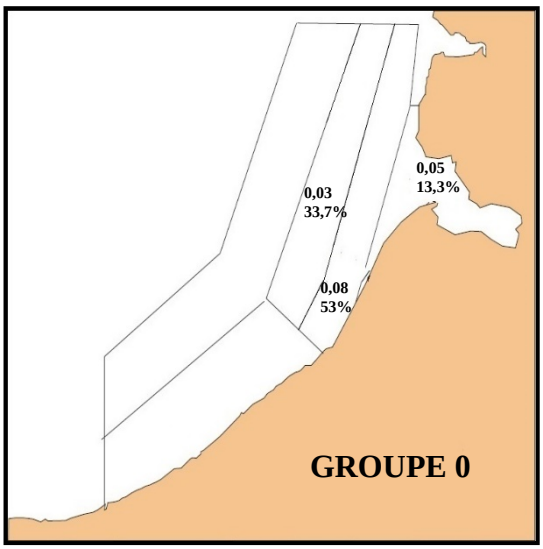


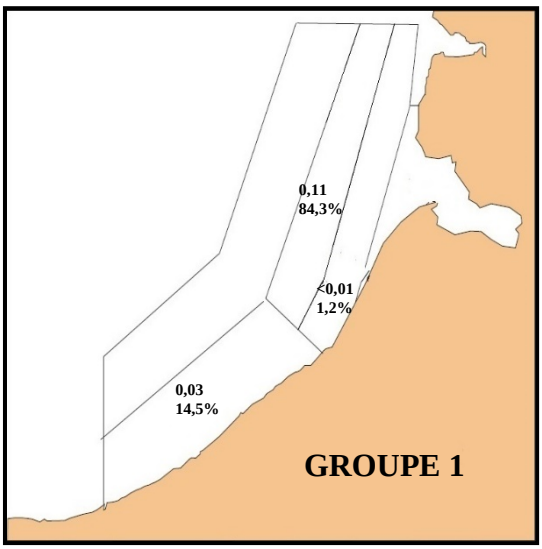


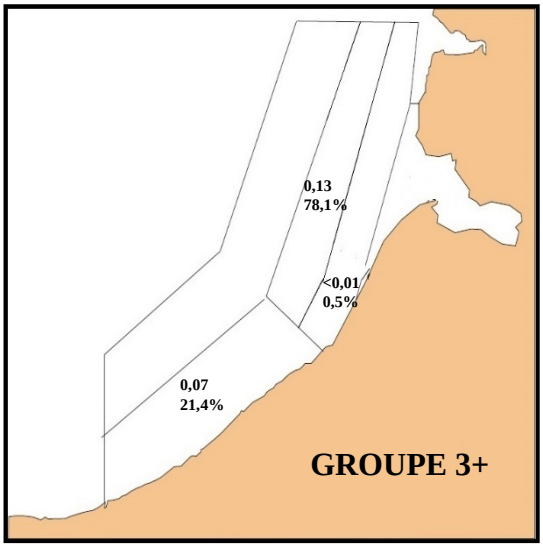


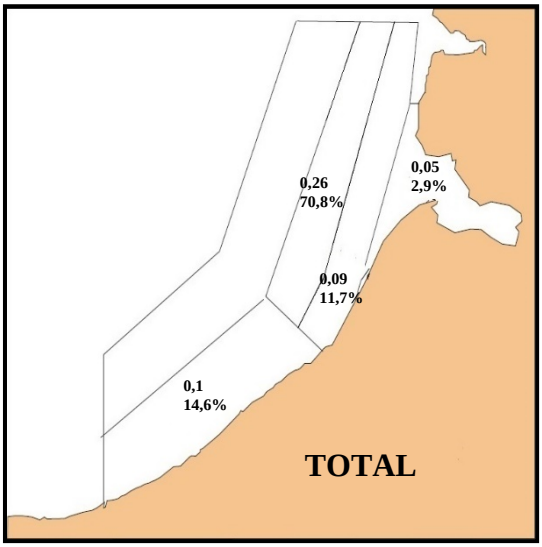


Annexe 2 : PLIE – août 2017
Densités moyennes par strates (nb / 1000 m2) et pourcentages par rapport à l'abondance totale

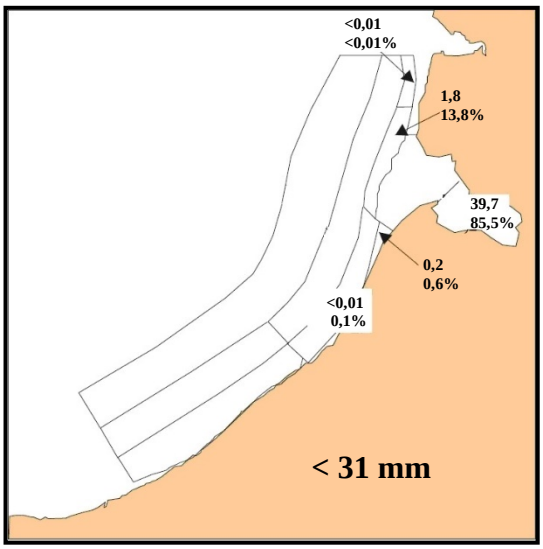


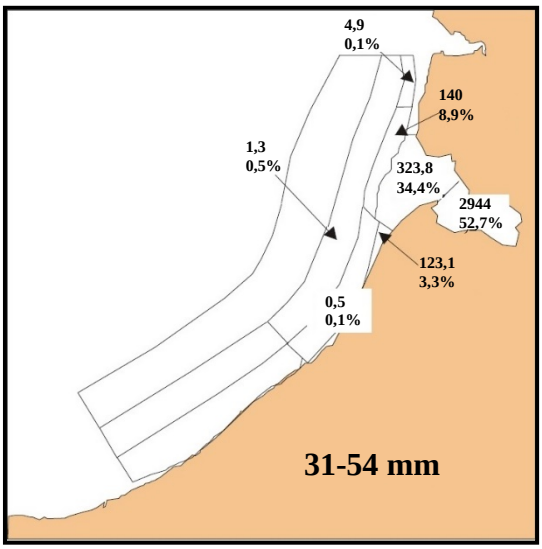


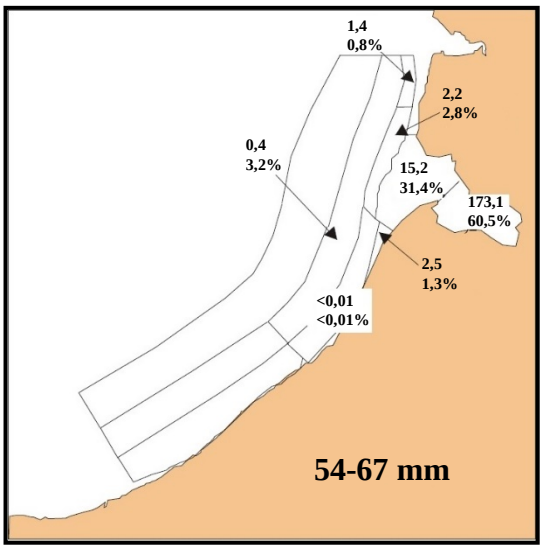


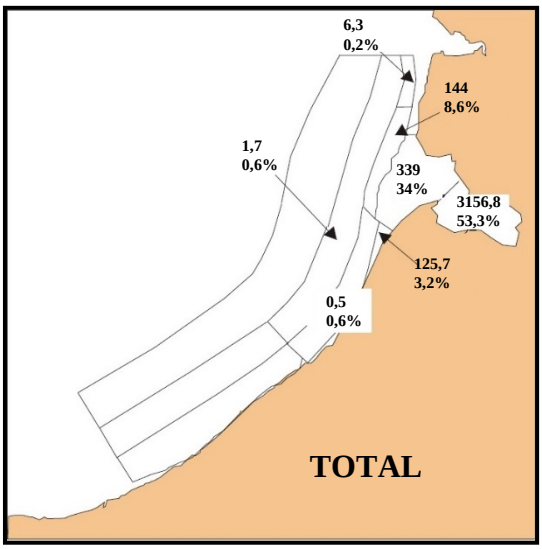


Annexe 3 : LIMANDE– août 2017
Densités moyennes par strates (nb / 1000 m2) et pourcentages par rapport à l'abondance totale









Annexe 4 : CREVETTE GRISE – août 2017
Densités moyennes par strates (nb / 1000 m2) et pourcentages par rapport à l'abondance totale

Tableaux récapitulatifs des densités moyennes et de la production par zone pour les différentes espèces

Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
ACTISPP	Actinia spp	actinie
AGONCAT	Agonus cataphractus	souris de mer
ALCYGEL	Alcyonidium gelatinosum	"Carambar"
ALLOSPP	Alloteuthis	petit calmar
AMMOTOB	Ammodytes tobianus	équille
ARNOSPP	Arnoglossus spp	arnoglosse
ASTERUB	Asterias rubens	étoile de mer
ATHEPRE	Atherina presbyter	prêtre
BLENSPP	Blennius spp	blennie
BUGLLUT	Buglossidium luteum	petite sole jaune
CALLLYR	Callionymus lyra	dragonnet
CARCMAE	Carcinus maenas	crabe vert
CARDEDU	Cardium edule	coque
CHLAOPE	Chlamys opercularis	vanneau
CILIMUS	Ciliata mustela	motelle
CLUPHAR	Clupea harengus	hareng
CORYCAS	Corytes cassivelaunus	crabe coryste
CRANCRA	Crangon crangon	crevette grise
CREPFOR	Crepidula fornicata	crépidule
DICELAB	Dicentrarchus labrax	bar
DONAX	Donax spp	donace
ECHICOR	Echinocardium cordatum	oeuf de grisard
ECHIVIP	Echiichthys vipera	petite vive
EUPABER	Eupagurus bernhardus	bernard-l'ermite
GLYCGLY	Glycimeris glycimeris	amande
GOBIIDAX	Gobiidae	gobie
HIPPSPP	Hippocampus spp	Hippocampe
HYPELAN	Hyperoplus lanceolatus	lançon, équille
LIMALIM	Limanda limanda	limande
LIOCHOL	Liocarcinus holsatus	"crabe nageur"
LIOCPUS	Liocarcinus Pusilus	"crabe nageur"
LIOCSP	Liocarcinus	crabe "nageur"
LOLIGINX	Loliginidae	calmar
LUTRLUT	Lutraria lutraria	Lutraire
MACOMA	Macoma spp	"Macoma"
MACRLON	Macropodia longirostris	"Macropodia"
MACRPUB	Macropipus puber	étrille

Code espèce	Nom Scientifique	Nom Vernaculaire
MAJASQU	*Maia squinado*	araignée de mer
MERLMNG	*Merlangius merlangus*	merlan
MULLSUR	*Mullus surmuletus*	rouget barbet
MYTIEDU	*Mytilus edulis*	moule
NASSSPP	*Nassarius spp*	nasse
NATIALD	*Natica alderi*	natice
OPHISPP	*Ophiuridae*	ophiure
OSTREDU	*Ostrea edulis*	huitre
PAGUCUA	*Pagurus Cuanensis*	Pagure Poilu
PAGUPRI	*Pagurus Prideaux*	Pagure Prideaux
PALASER	*Palaemon serratus*	bouquet
PHICTRI	*Philocheras trispinosus*	"crevette"
PLATFLE	*Platichthys flesus*	flet
PLEUPLA	*Pleuronectes platessa*	plie
PORTLAT	*Portumnus latipes*	"crabe"
PROCSPP	*Processidae*	"crevette"
PSAMMIL	*Psammechinus miliaris*	oursin vert
PSETMAX	*Psetta maxima*	turbot
RAJACLA	*Raja clavata*	raie bouclée
RAJAMON	*Raja montagui*	raie douce
SCOPRHO	*Scophthalmus rhombus*	barbue
SCYLCAN	*Scyliorhinus canicula*	petite roussette
SEPIOFF	*Sepia officinalis*	seiche
SEPISPP	*Sepiola spp*	sépiole
SOLELAS	*Solea lascaris*	sole pole
SOLEVUL	*Solea vulgaris*	sole commune
SPONCAN	*Spondyliosoma cantharus*	dorade grise
SPRASPR	*Sprattus sprattus*	sprat
SYNGSPP	*Syngnathus spp*	aiguille de mer
THIASCU	*Thia scutellata*	Petit crabe coeur
TRACTRU	*Trachurus trachurus*	chinchard
TRIGLUC	*Trigla lucerna*	grondin perlon
TRISLUS	*Trisopterus luscus*	tacaud
TRISMIN	*Trisopterus minutus*	petit tacaud
URTIEQU	*Urticina eques*	Anemone eques
URTIFEL	*Urticina Felina*	Anemone féline
ZEUSFAB	*Zeus faber*	St pierre

Annexe 5 : table des espèces observées en août 2017

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
ACTISPP	0,00	0,01	0,00	0,10	0,01
AGONCAT	0,00	0,01	0,03	0,00	0,01
ALCYGEL	0,23	0,35	17,20	2,75	4,70
ALLOSPP	0,43	0,31	0,61	0,41	0,28
AMMOTOB	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
ARNOSPP	3,53	0,23	8,60	0,21	2,78
ASCIDSP	0,00	<0,01	0,03	0,05	0,01
ASTERUB	0,00	0,97	4,56	0,00	1,31
ATHEPRE	0,00	<0,01	0,00	0,31	0,02
BLENSPP	0,00	0,00	0,00	0,05	<0,01
BUGLLUT	0,23	0,19	7,12	0,05	1,91
CALLLYR	16,40	1,28	23,93	0,36	8,73
CARCMAE	0,00	2,70	0,03	68,83	3,98
CARDEDU	0,00	0,00	0,00	0,16	0,01
CHLAOPE	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
CILIMUS	0,00	<0,01	0,00	0,05	<0,01
CLUPHAR	0,00	0,00	0,00	10,94	0,58
CORYCAS	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
CREPFOR	0,37	0,00	0,34	0,00	0,14
DICELAB	0,00	0,01	0,00	1,87	0,10
DONAX	0,00	1,23	2,03	0,83	0,73
ECHICOR	0,00	0,02	10,26	0,00	2,67
ECHIVIP	1,53	1,15	5,70	5,65	2,15
EUPABER	0,20	2,44	37,65	22,98	11,35
GLYCGLY	0,00	<0,01	0,08	0,00	0,02
GOBIIDAX	1,43	1,14	5,99	4,15	2,13
HIPPSPP	0,07	0,11	1,40	0,00	0,39
HYPELAN	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
LIMALIM	0,10	0,09	0,26	0,05	0,10
LIOCHOL	0,00	0,42	0,53	2,65	0,33
LIOCPUS	0,00	<0,01	0,00	0,05	<0,01
LIOCSP	0,00	0,05	0,11	7,31	0,42
LOLIGINX	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
LUTRLUT	0,00	0,01	0,05	0,05	0,02
MACOMA	0,00	0,03	0,00	0,10	0,01
MACRLON	0,70	0,14	3,64	0,10	1,07
MACRPUB	0,00	0,01	0,08	0,21	0,03

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
MAJASQU	0,03	0,01	0,05	0,00	0,02
MERLMNG	0,03	0,03	0,21	0,10	0,07
MULLSUR	0,03	<0,01	0,00	0,00	0,01
MYTIEDU	1,20	0,01	0,18	0,00	0,22
NASSSPP	0,67	3,03	66,96	12,50	18,57
NATIALD	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02
OPHISPP	5,47	9,20	607,13	0,00	159,96
OSTREDU	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
PAGUCUA	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01
PAGUPRI	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02
PALASER	0,00	0,01	0,00	0,10	0,01
PHICTRI	0,00	<0,01	0,13	0,00	0,03
PLATFLE	0,17	0,01	0,08	0,05	0,05
PLEUPLA	2,27	0,13	0,74	2,39	0,65
PORTLAT	0,00	0,08	0,00	1,14	0,07
PROCSPP	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
PSAMMIL	0,00	0,26	2,85	0,62	0,81
PSETMAX	0,10	<0,01	0,05	0,93	0,08
RAJACLA	4,00	0,10	1,95	0,00	1,09
RAJAMON	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01
SCOPRHO	0,00	<0,01	0,00	0,16	0,01
SCYLCAN	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
SEPIOFF	0,07	0,09	0,71	0,05	0,21
SEPISPP	0,07	0,18	1,71	0,36	0,50
SOLELAS	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
SOLEVUL	0,13	0,05	0,08	0,62	0,08
SPONCAN	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01
SPRASPR	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
SYNGSPP	0,00	0,04	0,03	0,41	0,03
THIASCU	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
TRACTRU	0,03	0,01	0,00	0,47	0,03
TRIGLUC	0,03	0,04	0,03	0,21	0,03
TRISLUS	0,00	<0,01	0,03	0,00	0,01
TRISMIN	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
URTIEQU	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
URTIFEL	0,00	<0,01	0,16	0,00	0,04
ZEUSFAB	0,03	0,00	0,03	0,00	0,01

Annexe 6 : Densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m^2)

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
ACTISPP	0,00	12,60	0,00	87,40
AGONCAT	0,00	12,52	87,48	0,00
ALCYGEL	0,70	0,98	95,24	3,08
ALLOSPP	21,77	14,27	56,20	7,77
AMMOTOB	0,00	100,00	0,00	0,00
ARNOSPP	17,96	1,05	80,60	0,39
ASCIDSP	0,00	5,79	67,42	26,78
ASTERUB	0,00	9,56	90,44	0,00
ATHEPRE	0,00	1,19	0,00	98,81
BLENSPP	0,00	0,00	0,00	100,00
BUGLLUT	1,72	1,27	96,86	0,14
CALLLYR	26,52	1,91	71,35	0,22
CARCMAE	0,00	8,81	0,17	91,02
CARDEDU	0,00	0,00	0,00	100,00
CHLAOPE	0,00	100,00	0,00	0,00
CILIMUS	0,00	6,72	0,00	93,28
CLUPHAR	0,00	0,00	0,00	100,00
CORYCAS	0,00	100,00	0,00	0,00
CREPFOR	36,70	0,00	63,30	0,00
DICELAB	0,00	1,38	0,00	98,62
DONAX	0,00	21,79	72,25	5,96
ECHICOR	0,00	0,10	99,90	0,00
ECHIVIP	10,09	6,93	69,13	13,86
EUPABER	0,25	2,79	86,31	10,64
GLYCGLY	0,00	0,95	99,05	0,00
GOBIIDAX	9,51	6,93	73,29	10,26
HIPPSPP	2,43	3,60	93,97	0,00
HYPELAN	82,72	17,28	0,00	0,00
LIMALIM	14,57	11,77	70,85	2,81
LIOCHOL	0,00	16,46	41,50	42,04
LIOCPUS	0,00	6,72	0,00	93,28
LIOCSP	0,00	1,50	6,56	91,93
LOLIGINX	100,00	0,00	0,00	0,00
LUTRLUT	0,00	5,64	78,73	15,64
MACOMA	0,00	39,35	0,00	60,65
MACRLON	9,23	1,74	88,52	0,51
MACRPUB	0,00	3,61	63,01	33,38

Code Espèce	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
MAJASQU	24,47	4,09	71,43	0,00
MERLMNG	6,76	6,50	78,91	7,84
MULLSUR	88,86	11,14	0,00	0,00
MYTIEDU	77,34	0,72	21,95	0,00
NASSSPP	0,51	2,12	93,84	3,54
NATIALD	0,00	0,00	100,00	0,00
OPHISPP	0,48	0,75	98,77	0,00
OSTREDU	0,00	100,00	0,00	0,00
PAGUCUA	100,00	0,00	0,00	0,00
PAGUPRI	0,00	0,00	100,00	0,00
PALASER	0,00	22,38	0,00	77,62
PHICTRI	0,00	0,57	99,43	0,00
PLATFLE	49,38	1,65	43,24	5,73
PLEUPLA	48,89	2,55	29,38	19,17
PORTLAT	0,00	14,32	0,00	85,68
PROCSPP	0,00	100,00	0,00	0,00
PSAMMIL	0,00	4,18	91,76	4,05
PSETMAX	18,20	0,76	17,71	63,32
RAJACLA	51,98	1,25	46,77	0,00
RAJAMON	100,00	0,00	0,00	0,00
SCOPRHO	0,00	4,58	0,00	95,42
SCYLCAN	0,00	0,00	100,00	0,00
SEPIOFF	4,50	5,64	88,57	1,30
SEPISPP	1,89	4,73	89,55	3,83
SOLELAS	0,00	0,00	100,00	0,00
SOLEVUL	24,11	7,56	26,39	41,94
SPONCAN	100,00	0,00	0,00	0,00
SPRASPR	0,00	100,00	0,00	0,00
SYNGSPP	0,00	14,12	20,55	65,32
THIASCU	0,00	100,00	0,00	0,00
TRACTRU	15,17	5,70	0,00	79,13
TRIGLUC	16,69	20,23	24,36	38,71
TRISLUS	0,00	7,91	92,09	0,00
TRISMIN	0,00	100,00	0,00	0,00
URTIEQU	0,00	100,00	0,00	0,00
URTIFEL	0,00	1,41	98,59	0,00
ZEUSFAB	40,66	0,00	59,34	0,00

Annexe 7 : Pourcentage de l'abondance des espèces par strate

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E	Totale
CLUPHAR	1+	0,00	0,00	0,00	10,94	0,58
DICELAB	0	0,00	0,00	0,00	1,61	0,08
DICELAB	1	0,00	<0,01	0,00	0,26	0,01
DICELAB	2	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
LIMALIM	0	0,00	0,08	0,03	0,05	0,02
LIMALIM	1	0,03	<0,01	0,11	0,00	0,03
LIMALIM	3+	0,07	<0,01	0,13	0,00	0,04
MERLMNG	0	0,03	0,03	0,16	0,10	0,06
MERLMNG	1	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01
MERLMNG	2	0,00	<0,01	0,00	0,00	<0,01
MULLSUR	0	0,03	<0,01	0,00	0,00	<0,01
PLATFLE	0	0,00	0,00	0,00	0,05	<0,01
PLATFLE	1	0,17	<0,01	0,08	0,00	0,04
PLEUPLA	0	0,00	0,12	0,13	2,39	0,17
PLEUPLA	1	0,90	<0,01	0,47	0,00	0,25
PLEUPLA	2	0,87	<0,01	0,08	0,00	0,14
PLEUPLA	3+	0,50	0,00	0,05	0,00	0,08
PSETMAX	0	0,10	<0,01	0,05	0,93	0,08
SCOPRHO	0	0,00	<0,01	0,00	0,16	<0,01
SOLEVUL	0	0,00	0,05	0,00	0,62	0,04
SOLEVUL	1	0,13	0,00	0,08	0,00	0,04
SPRASPR	1+	0,00	0,02	0,00	0,00	<0,01
TRACTRU	0	0,03	0,01	0,00	0,47	0,03
TRIGLUC	0	0,00	0,02	0,00	0,16	0,01
TRIGLUC	1	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02
TRISLUS	0	0,00	<0,01	0,03	0,00	<0,01
ZEUSFAB	0	0,00	0,00	0,03	0,00	<0,01
ZEUSFAB	1	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,01

Annexe 8 : Densités par groupes, strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000m^2)

Code Espèce	Groupe	Strate A	Strate B	Strate C	Strate E
CLUPHAR	1+	0,00	0,00	0,00	100,00
DICELAB	0	0,00	0,00	0,00	100,00
DICELAB	1	0,00	6,72	0,00	93,28
DICELAB	2	0,00	100,00	0,00	0,00
LIMALIM	0	0,00	53,00	33,70	13,30
LIMALIM	1	14,50	1,20	84,30	0,00
LIMALIM	3+	21,40	0,50	78,10	0,00
MERLMNG	0	8,48	7,44	74,25	9,83
MERLMNG	1	0,00	0,00	100,00	0,00
MERLMNG	2	0,00	100,00	0,00	0,00
MULLSUR	0	88,86	11,14	0,00	0,00
PLATFLE	0	0,00	0,00	0,00	100,00
PLATFLE	1	52,38	1,75	45,87	0,00
PLEUPLA	0	0,00	8,60	19,60	71,80
PLEUPLA	1	50,50	0,40	49,10	0,00
PLEUPLA	2	85,20	0,40	14,40	0,00
PLEUPLA	3+	83,70	0,00	16,30	0,00
PSETMAX	0	18,20	0,76	17,71	63,32
SCOPRHO	0	0,00	4,58	0,00	95,42
SOLEVUL	0	0,00	15,27	0,00	84,73
SOLEVUL	1	47,74	0,00	52,26	0,00
SPRASPR	1+	0,00	100,00	0,00	0,00
TRACTRU	0	15,17	5,70	0,00	79,13
TRIGLUC	0	0,00	26,49	0,00	73,51
TRIGLUC	1	27,59	16,14	40,27	16,00
TRISLUS	0	0,00	7,91	92,09	0,00
ZEUSFAB	0	0,00	0,00	100,00	0,00
ZEUSFAB	1	100,00	0,00	0,00	0,00

Annexe 9 : Pourcentage de l'abondance des espèces par groupe et par strate

Crevette Grise

Taille	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 8	Strate 9	Totalité
<31 mm	39,7	0,0	0,2	1,8	<0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,01	0,4
31-54 mm	2944,0	323,8	123,1	140,0	0,5	1,3	0,0	0,0	0,0	4,9	42,9
54-67 mm	173,1	15,2	2,5	2,2	<0,01	0,4	0,0	0,0	0,0	1,4	2,2
TOTAL	3156,8	339,0	125,7	144,0	0,5	1,7	0,0	0,0	0,0	6,3	45,5

Annexe 10 : Densités par strates et sur la totalité du secteur (en nombre d'individus par 1000 m^2)

Taille	Strate 0	Strate 1	Strate 2	Strate 3	Strate 4	Strate 5	Strate 6	Strate 7	Strate 8	Strate 9
<31 mm	85,5	0,0	0,6	13,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	<0,01
31-54 mm	52,7	34,4	3,3	8,9	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1
54-67 mm	60,5	31,4	1,3	2,8	<0,01	3,2	0,0	0,0	0,0	0,8
TOTAL	53,3	34,0	3,2	8,6	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,2

Annexe 11 : Pourcentage de l'abondance par strate et sur l'ensemble du secteur

Biblographie

ALDEBERT Y., 1975
Comparaison des rendements du "Bongo".- Rapport F.A.O.- I.S.T.P.M.

ARBAULT S. et LACROIX N., 1975
Essais comparatifs des pouvoirs de capture de 2 filets à plancton (GULF III encased et Bongo).- Cons. Int. Explor. Mer, Comité des poissons pélagiques (sud), J : 8.

AUGRIS C., CLABAUT P., COSTA S., GOURMELON F. et LATTEUX B., 2004 (GENERALITES)
Évolution morpho-sédimentaire du domaine littoral et marin de la Seine-Maritime, EDF. Ed. Ifremer, Bilans & Prospectives, 159 p.

BIGOT J.L., 1979
Identification des zoés de tourteau (Cancer pagurus L.) et d'étrille (Macropipus puber L.) Comparaison avec d'autres zoés de morphologie très voisine.- Cons. Int. Explor. Mer, Comité de l'océanographie biologique, L : 17.

DE LA TORRE Y., 2001
Utilisation d'un système d'information géographique pour l'analyse morphosédimentaire en domaine marin côtier : application aux fonds marins entre Dieppe et Le Tréport (Seine-Maritime). DEA de Géographie, Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest, France.

DREVES L., CLABAUT P. et CHEVALIER C., 1995
Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly, mission Sonpen, mai 1992. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 92 p. + 3 cartes hors texte.

DREVES L., CLABAUT P. et CHEVALIER C., 2002
Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier de Penly entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaso, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 62 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

DREVES L., CLABAUT P. et COÏC D., 1997
Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre la pointe d'Ailly et Criel-sur-Mer (Seine-Maritime, France), mission Pycaux, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 46 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

DREVES L., CLABAUT P. et CHEVALIER C., 2002
Étude biomorphosédimentaire du domaine marin côtier entre Dieppe et Criel-sur-Mer (Seine-maritime, France), mission Pycaso, avril 2000. Rapport Ifremer pour le compte de l'EDF, 62 p. + annexes + 2 cartes hors texte.

EUZEBY J.P., 2000
Dictionnaire de bactériologie vétérinaire. (2.3)
Site Internet : http://www.bacterio.cict.fr/bacdico/pp/photobacterium.html

GENESTE C., 1999
Infections à vibrions non cholériques : étude des cas survenus en France métropolitaine et identifiés par le Centre National de Références des vibrions et du choléra, de 1995 à 1998. Thèse de Doctorat en Médecine, 74 pp

GENESTE C., DAB W., CABANES P.A., VAILLANT V., QUILICI M.L. et FOURNIER J.M., (2000)
Les vibrioses non cholériques en France : cas identifiés de 1995 à 1998 par le Centre national de référence. Bull épidemiol hebd 2000 ; 38-40.

GIBSON R.N., 1980
The intertidal movments and distribution of young fish on a sandy beach with special reference to the plaice (Pleuronectes platessa L.) J. exp. mar Biol. Ecol. 12 : 79-102.

JOSSI J.W., MARAK R.R. et PETERSON H., 1975
At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I Manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.

KUIPERS B., 1973
On the tidal migration of young plaice (Pleuronectes platessa). Neth. J. of Sea Research, 6 (3):376-388.

HARDEN JONES F.R., 1980
The migration of plaice in relation to the environment. Iclarme confé. Procced, Manila (Philippines), 1980, 5:383-396.

HERAL M., WOEHRLING D., HALGAND D. et LASSUS P., 1976
Utilisation du filet à plancton du type "Bongo".- Cons. Int. Explor. Mer, Comité du Plancton, L : 19.

HERVIO-HEATH D., COLWELL R.R., DERRIEN A., ROBERT-PILLOT A., FOURNIER J.M., et POMMEPUY M., 2002
Occurrence of pathogenic vibrios in coastal areas of France. Journal of Applied Microbiology. 92: 1123-1135.

JOSSI J.W., MARAK R.R. et PETERSON H., 1975
At-sea data collection and laboratory procedures.- Marmap survey I Manual, Marmap Programm Office, National Marine Fisheries Service édit., Washington.

KUIPERS B., 1973
On the tidal migration of young plaice (Pleuronectes platessa). Neth. J. of Sea Research, 6 (3):376-388.

LEBOUR M.V., 1928
The larval stages of the Plymouth Brachyura. Proc. Zool. Soc. London : 473-560.

MIOSSEC L., 2002
Les vibrions pathogènes pour l'homme : le risque associé au milieu marin en France. Vibrions et risque sanitaire. Rapport scientifique et technique Ifremer, RST.DEL/02.02/MIC. 48 pp.

QUILICI M.L., GUENOLE A. et FOURNIER J.M., 2000
Les infections à vibrions non cholériques en France. Cas identifiés de 1999 à 2001 par le Centre national de référence des Vibrions et du Choléra. Surveillance nationale des maladies infectieuses, 1998-2000. Editeur : InVS, pp. 193-196.

QUILICI M.L. et FOURNIER, J.M., 2003
Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2003. Institut Pasteur, Paris.

QUILICI M.L. et FOURNIER J.M. 2004

Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2004. Institut Pasteur, Paris.

QUILICI M.L., GUENOLE A., LEMME L. et FOURNIER J.M. 2005
Les infections à vibrions non cholériques en France. Cas identifiés de 2001 à 2003 par le Centre national de référence des Vibrions et du Choléra. Surveillance nationale des maladies infectieuses, 2001 à 2003. Editeur : InVS, Maladies d'origines alimentaire, 7 p.

QUILICI M.L. et FOURNIER J.M. 2005
Rapport d'activité de l'unité Choléra et des Vibrions pour l'année 2005. Institut Pasteur, Paris.

RIOU P. 1999
Etude des nourriceries de sole et de plie en Manche Est. Importance écologique de l'estuaire de Seine. Thèse de doctorat, Université de Caen : 117 p.

TIEWS, 1967
Synopsis of biological data on the common shrimp (Crangon crangon) (Linnaeus, 1758) FAO Fish. synops. n°91.

WILHELM G., 1995
Contribution a l'étude de l'étrille (Necora puber) dans le Mor-Braz : données halieutiques, biologiques et pathologiques.